



liro Vainikainen

## **Maanalaisen pikaraitiotien suunnitteluperusteet Helsingissä**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 21.10.2019

Valvoja: Professori Raine Mäntysalo

Ohjaaja: DI Anton Silvo

---

**Tekijä** Iiro Vainikainen

---

**Työn nimi** Maanalaisen pikaraitiotien suunnitteluperusteet Helsingissä

---

**Maisteriohjelma** Spatial Planning and Transportation Engineering **Koodi** ENG26

---

**Työn valvoja** Professori Raine Mäntysalo

---

**Työn ohjaaja** Diplomi-insinööri Anton Silvo, Helsingin kaupunkiympäristön toimiala

---

**Päivämäärä** 21.10.2019

**Sivumäärä** 50

**Kieli** suomi

---

## Tiivistelmä

Raitiotiet ovat tehneet 2000-luvulla paluun kaupunkien liikennejärjestelmäsuunnittelun ytimeen. Kun raitiotiet ovat kasvaneet aina raskaammiksi ja nopeammiksi, on niiden ero metrojärjestelmiin kutistunut ja hyödyt kasvaneet. Maanalaisen pikaraitiotien mahdollisuudet ovatkin juuri raskaan metron ja kevyen raitiotiejärjestelmän eron kurominen kiinni. Pikaraitiotietunneleita on rakennettu ympäri Eurooppaa jo 1960- ja 70-luvuilla. Tällöin näitä ratkaisuita kutsuttiin esimetroiksi, sillä nämä linjat oli myöhemmin tarkoitettu korvata täydellä metrojärjestelmällä. 2000-luvun pikaraitiotietunnelin tarkoituksena on puolestaan parantaa pikaraitiotien sujuvuutta ja palvelutasoa, eikä luoda pohjaa myöhemmälle metrorakentamiselle.

Helsingin seudun poikittaiset yhteydet ovat erittäin vajavaiset, johtuen siitä, että joukko-liikennettä on vuosikymmeniä suunniteltu erittäin monosentrisesti Helsingin keskustasta säteittäisesti lähtevien linjojen varaan. Nyt kun Pasilasta on muodostumassa aidosti Helsingin toinen liikenteen keskus, on myös tarpeen suunnitella raskaampia ja kestävämpiä yhteyksiä Pasilasta myös muualle, kuin keskustasta säteittäisesti meneviä yhteyksiä.

Tässä työssä on tarkoitus selvittää tekniset edellytykset maanalaisen pikaraitiotien rakentamiselle, etenkin miten pikaraitiotien suunnitleminen eroaa raitiotien, metron ja lähijunaliikenteen suunnitlemisestä.

---

**Avainsanat** Pikaraitiotie, tunneli, suunnitteluperusteet, Pasila

---



---

**Author** Iiro Vainikainen

---

**Title of thesis** Design Guidelines for Underground Light Rail in Helsinki

---

**Master programme** Spatial Planning and Transportation  
Engineering

**Code** ENG26

---

**Thesis supervisor** Professor Raine Mäntysalo

---

**Thesis advisor** Master of Science (Technology) Anton Silvo, Urban Environment  
Division of City of Helsinki

---

**Date** 21 October 2019

**Number of pages** 50

**Language** Finnish

---

## **Abstract**

Tramways have made a comeback to the transport system planning in the early years of the 21st century. As the tramways have become heavier and faster, their difference to metro and underground suburban rail gets smaller. One possibility for solving the gap between heavy metro rail service and slow tramway lines would be underground light rail. These kinds of solutions have been built around Europe for a long time, especially in the 1960's and 70's. Back then, the underground light rail tunnel was thought to be just a temporary phase before converting the light rail into a full metro infrastructure. Therefore, these systems are often called pre-metros. In the 21<sup>st</sup> century, the purpose of these systems is more to improve the fluency and service level of light rail without the intention of upgrading them into full metro systems in the future.

In Helsinki the public transportation network has been developed until recently in a monocentric manner, mostly by creating radial lines terminating in the city centre. As the Pasila area is in the state of rebirth with the new transport hub being built, the need of high quality tangential public transportation links has become a necessity. The regeneration of the area also provides a possibility to do that.

In this thesis the technical differences between light rail, metro and suburban rail are compared and new guidelines for underground light rail are proposed. New guidelines are necessary, as underground light rail is a completely new thing in Helsinki and Finland.

---

**Keywords** light rail, tunnel, design guidelines, Pasila

---

## Alkusanat

*”Elämä on tunneli” totesi eräs kanssaopiskelija Maanmittarikillan ulkomaanexcursiolla Budapestissa elokuussa 2017. Tätä neuvoa on sen jälkeen noudatettu, oli sitten kyse Länsimetron avajaisista tai Kööpenhaminan Cityringenin avajaisista, näissä on ollut pakko olla paikalla. Tämän laisesta aiheesta diplomityön kirjoittaminen onkin ollut minulle suuri mielenkiinnon ja innostuksen kohde.*

*Tämä työ on tehty toimeksiantona Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimialan liikennejärjestelmäyksikköön. Haluan kiittää kaikkia mukana olleita avusta diplomityöni tekemiseen. Erityisesti haluan kiittää ohjaajaa diplomi-insinööri Anton Silvoa sekä valvojaa professori Raine Mäntysaloa tuesta työn valmistumisen mahdollistamisesta. Korvaamatonta apua antoi myös Kaupunkiympäristön toimialan diplomitöiden sparrausryhmä, johon kuuluivat Anna Pätynen, Heikki Hälvä, Heikki Salmikivi, Kaisa Reunanen-Krause, Niko Setälä, Susa Eräranta ja Ville Kankkunen. Suuri kiitos myös Samuli Kyytsöselle, jonka kanssa teimme yhtä aikaa diplomityötä, ja joka kesti huumorintajuani koko kesän ajan samassa ilmastoimattomassa työhuoneessa.*

*Innostuksen lähteenä vaikeampinakin kirjoitushetkinä on toiminut Markku ”Rive” Kanerva, jonka valmentama Suomen jalkapallomaajoukkue on luonut uskoa tulevaisuuteen sekä osoittanut, että aina on olemassa mahdollisuuksia ja valoisampi tulevaisuus, jos vain uskoo omaan tekemiseen.*

Sarajevossa 12.10.2019



Iiro Vainikainen

*”Elämä on tunneli”*

nimettömänä pysyttelevä lähde, 2017

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Abstract	
Alkusanat	
Sisällysluettelo .....	iii
Lyhenteet .....	iv
1 Johdanto .....	1
1.1 Tausta .....	1
1.2 Tavoitteet ja rajaukset .....	1
1.3 Tutkimusmenetelmät .....	2
2 Kohde-esittely .....	3
2.1 Helsingin joukkoliikennejärjestelmä .....	3
2.1.1 Helsingin raitiotie .....	3
2.1.2 Helsingin metro ja metrosuunnitelmat .....	4
2.2 Pikaraitiotie .....	7
2.3 Joukkoliikennepohjainen kaupunkisuunnittelu .....	8
2.4 Helsingin yleiskaava .....	9
2.5 Pasila .....	11
2.6 Miksi maan alle .....	13
3 Viranomais säädökset ja vastuut .....	16
3.1 Lainsäädäntö .....	16
3.2 Liikenne- ja viestintävirasto .....	17
3.3 Helsingin seudun liikenne – kuntayhtymä .....	18
3.4 Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos .....	19
4 Kohde-esimerkit .....	21
4.1 Raide-jokeri .....	21
4.1.1 Patterimäen tunneli .....	21
4.2 Vantaan pikaraitiotie .....	22
4.3 Göteborg .....	25
4.3.1 Hammarkullenin tunneli .....	26
4.3.2 Chalmersin tunneli .....	27
4.4 Bergen .....	28
5 Suunnitteluperusteet .....	31
5.1 Kalusto .....	31
5.1.1 Kaluston leveys .....	31
5.1.2 Kaluston pituus .....	33
5.1.3 Matkustajakapasiteetti .....	34
5.2 Raitiotien geometria .....	37
5.3 Tunnelirakenteet .....	39
5.4 Ratarakenteet .....	40
5.5 Tunneliturvallisuus .....	41
5.5.1 Pelastusturvallisuus .....	41
5.5.2 Savunpoisto .....	43
5.6 Liikenteenohjaus .....	44
5.7 Asemat .....	45
6 Johtopäätökset ja yhteenveto .....	47
Lähdeluettelo .....	49

## Lyhenteet

ATU	Aukean tilan ulottuma
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
HKL	Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos
HSL	Helsingin seudun liikenne –kuntayhtymä
KYMP	Helsingin kaupungin kaupunkiympäristön toimiala
LVM	Liikenne- ja viestintäministeriö
Traficom	Liikenne- ja viestintävirasto

# 1 Johdanto

Tämä diplomityö on tehty toimeksiantona Helsingin kaupungin Kaupunkiympäristön toimialan liikenne- ja katusuunnittelupalvelulle. Hanke on lähtöisin maankäytön yleissuunnittelun yksikön tarpeista tutkia Pasilan poikittaisyhteyksien parantamista. Koska aiheessa on niin paljon selvittämistä, on tästä aiheesta samaan aikaan teetetty kaksi diplomityötä, toinen työ on maankäytön yleissuunnitteluun tehty diplomityö *Saavutettavuus sosiaalisesta näkökulmasta – case Helsingin poikittaiset pikaraitiotiet* (Kyytsönen S., 2019)

## 1.1 Tausta

Raitiotiet ovat tehneet 2000-luvulla paluun kaupunkien liikennejärjestelmäsunnittelun ytimeen. Kun raitiotiet ovat kasvaneet aina raskaammiksi ja nopeammiksi, on niiden ero metrojärjestelmiin kutistunut ja hyödyt kasvaneet. Kun samaan aikaan metrohankkeiden hinnat ovat lähteneet jyrkkään nousuun, onkin ollut aiheellista pohtia ja suunnitella, voisiko raiteille perustuvaa joukkoliikennettä suunnitella myös kevyemmästä suunnasta. Helsingissä on olemassa metrovarauksia, jotka ovat pysyneet varauksen tasolla jo vuosikymmeniä, ja tämän hetkisen ilmapiiirin perusteella on myös epätodennäköistä, että nämä varaukset siirtyisivät toteutukseen tulevinakaan vuosikymmeninä. Kuitenkin Helsingin seudun poikittaiset yhteydet ovat erittäin vajavaiset, johtuen siitä, että joukkoliikennettä on vuosikymmeniä suunniteltu erittäin monosentrisesti Helsingin keskustasta säteittäisesti lähtevien linjojen varaan.

Nyt kun Pasilasta on muodostumassa aidosti Helsingin toinen liikenteen keskus ja merkittävä keskustamaisten toimintojen keskittymä, on myös tarpeen suunnitella raskaampia ja kestävämpiä yhteyksiä Pasilasta myös muualle, kuin keskustasta säteittäisesti meneviä yhteyksiä. Metron kapasiteetin arvellaan olevan loppumassa viimeistään 2030-luvulla, joten alueella tarvitaan metroa tukevia liikennehankkeita, jotta selvittää myös tulevaisuuden liikennemääristä. Helsingin kaupungin tavoitteena on kehittää tulevaisuudessa joukkoliikennejärjestelmää pikaraitioteiden muodostaman verkoston ympärille. Pikaraitioteiden verkkoon perustuu myös Helsingin uusi yleiskaava. Koska Pasilaan on tarpeen saada hyviä poikittaisia yhteyksiä ja uuden kauppakeskuksen rakentamisvaiheessa on varauduttu tulevaan metroasemaan, muodostui kaupungilla tarve teettää selvitys voisiko tätä tunneli- ja asemavarausta käyttää pikaraitiotien tunnelina.

## 1.2 Tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia:

- mitä vaikutuksia olisi pikaraitiotien rakentamisella maanalaiseen tunneliin?
- miten tunnelin rakentaminen pikaraitiotielle eroaa metrotunnelin tai lähijunaliikenteen tunnelin rakentamisesta?
- miten vastaavia hankkeita on toteutettu ulkomailla?

Työ on rakenteellisesti jaettu kahteen pääosaan, verrokkikohteiden esittelyyn, ja teknisten vaatimusten selvittämiseen. Verrokkikohteita on etsitty niin Suomesta kuin ulkomailta, joskin suomalaiset kohteet ovat kaikki vasta suunnitteluvaiheessa, sillä maanalaista raitiotietä ei löydy Suomesta mistään. Ulkomaisiksi kohteiksi on valittu pohjoismaisia kohteita, sillä sääntely-ympäristön ja ilmaston vuoksi ne ovat kaikkein relevanteimpia kohteita. Teknisissä vaatimuksissa on keskitytty kalustoon, geometriaan, liikenteenohjauk-

seen, asemien tunnelirakenteisiin sekä tunneliturvallisuuteen. Diplomityössä on keskitytty teknisten ratkaisuiden etsimiseen - liikennöintiin liittyvät kysymykset on rajattu tarkoituksella ulkopuolelle, sillä tekniset järjestelyt eli infra-struktuuri ja kalusto ovat tärkeimpiä tällä suunnitteluasteella selvitettäviä asioita. Liikennöintiin liittyviin kysymyksiin voidaan vastata sen jälkeen, kun tekniset standardit on lyöty lukkoon.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät**

Tutkimusmenetelmiltään tämä työ on vertailututkimus, jossa verrataan olemassa olevia suunnittelustandardeja niin kevyemmistä kuin raskaammista raideliikennemuodoista ja muodostetaan niistä suosituksia ratkaisuiksi maanalaisen pikaraitiotien suunnittelussa. Tarkoituksena on myös tutkia, miten mahdolliset ratkaisut vaikuttavat valitulla tutkimusalueella eli Pasilassa. Tutkimusmateriaalia on kerätty erinäisistä lähteistä, kuten eri tekniikkalajien suunnittelustandardeista, etenkin teknisten järjestelyiden osalta. Teknisten järjestelyiden taustoittamisessa on käytetty myös paljon konsulttiselvityksiä. Tutkimusta varten on myös haastateltu kahta ihmistä sekä käyty sähköpostitse kirjeenvaihtoa useiden henkilöiden kanssa. Myös diplomitöiden sparrausryhmältä saatu tieto on ollut korvaamattomassa osassa.



## 2 Kohde-esittely

Tässä osiossa esitellään tutkimusalueeseen liittyvät tekniset ja maankäytölliset raamit. Liikenteellisesti on oleellista selvittää, millainen liikennejärjestelmä Helsingissä ja etenkin Pasilassa on juuri nyt ja miten tähän pisteeseen on päädytty. Maankäytön historialliset kerrostumat puolestaan kertovat, minkä takia tällaiseen paikkaan on muodostunut juuri tällainen alue ja mitä alueelle on tulossa lähitulevaisuudessa.

### 2.1 Helsingin joukkoliikennejärjestelmä

Helsingin seudun joukkoliikenne perustuu viiden eri liikennemuodon yhteiseen verkostoon. Liikennemuodot ovat bussiliikenne, raitioliikenne, metrolinjakka, lähijunaliikenne ja lauttaliikenne. Bussiliikenne koostuu kaupunkien sisäisistä linjoista sekä usean kunnan alueella ajettavista seutulinjoista, raitioliikenne Helsingin kantakaupungin kaupunkiraitiotiestä ja lähijunaliikenne Helsingin ja lähikuntien kaupunkiraideliikenteestä ja kehyskuntiin jatkuvasta taajamajunatyypistä lähijunaliikenteestä.

Liikennemuotojen rajat eivät ole myöskään täysin pitävät, sillä useassa muodossa on vaikutteita muista liikennemuodoista. Lähijunaliikenne jakautuu kahteen toisistaan selvästi eroavaan liikenteeseen: VR:n järjestämään taajamajunatyypiseen liikenteeseen Lahden ja Riihimäen suuntaan sekä HSL:n järjestämään kaupunkiraitieliikenteeseen Keravalle, Leppävaaraan sekä lentoasemalle. Näiden lisäksi HSL järjestää kaupunkiraitieliikenteen ja taajamajunaliikenteen välimaastoon sijoittuvaa Kirkkonummen ja Siuntion liikennettä Rantaradalla. Kaupunkiraitieliikenne on 1990-luvulla silloisen Ratahallintokeskuksen ja radanvarren kuntien yhdessä kehittämä hanke, jonka tarkoituksena oli kehittää lähijunaliikennettä korkeamman palvelutason liikenteeksi erottamalla tiheästi pysähtyvä lähijunaliikenne kaukoliikenteestä sekä pidemmän matkan lähiliikenteestä. Helsingistä pohjoiseen oli rakennettu kolmas raide jo 1972 Hiekkaharjuun saakka sekä 1981 Keravalle asti. Vuonna 1996 rata Tikkurilaan asti sai neljännen raiteen, josta muodostui ensimmäinen kaupunkirata. Tätä jatkettiin vielä vuonna 2004 Keravalle asti. Lännen suunnassa kaupunkirata avautui vuonna 2002 Leppävaaraan asti. Ainoa pelkästään kaupunkiraitieliikennettä varten rakennettu rata on vuonna 1975 Huopalahden ja Martinlaakson väliin valmistunut lähiliikenneraata. Rataa jatkettiin ensin vuonna 1991 Vantaankoskelle ja lopulta vuonna 2015 Kehäratana lentoaseman kautta pääradalle.

#### 2.1.1 Helsingin raitiotie

Helsingin kaupungissa on ollut raitioliikennettä vuodesta 1891 saakka, jolloin avattiin ensimmäinen hevosvetoinen raitiotielinja. Ensimmäinen sähkökäyttöinen raitiotie kulki Helsingissä vuonna 1901, ja koko rataverkko kaksiraiteistettiin vuoteen 1909 mennessä. Helsingin raitiotien raideleveys on ollut alusta saakka 1 000 millimetriä, joka poikkeaa Suomen rautateiden käyttämästä 1 524 millimetrin leveydestä. 1 000 millimetriä oli valikoitunut usean vanhan raitiotiejärjestelmän raideleveydeksi, sillä se oli optimaalinen hevosten vetämien vaunujen kokoon nähden. (Raitiotieseura, 2019)

Kesällä 2019 Helsingin raitiotieverkko koostuu 10 linjasta ja yhdestä lisälinjasta. Linjaston osalta on käynnissä kuitenkin laajennustyö. Vuoden 2015 raitioteiden linjastosuunnitelman mukaan raitioliikennettä olisi tarkoitus laajentaa uusille alueille, joilla ei vielä ole raideliikenteen palvelua. Näitä ovat Jätkäsaari, Kalasatama ja Pohjois-Pasila. Kantaraitioverkon laajennusten olisi tarkoitus valmistua 2020-luvun puoliväliin mennessä.

Verkon keskeneräisten laajennustöiden vuoksi osaa linjoista ajetaan yhtenäisenä lenkinä, esimerkiksi linjat 2, 3 ja 7 operoidaan tällä hetkellä yhtenä kokonaisuutena niin, että numero vaihtuu kesken ajon ilman kääntöpaikkoja. Kantaverkon laajennuksen pitäisi olla valmis vuoteen 2025 mennessä, jolloin uudet linjaosuudet ovat valmistuneet Jätkäsaaren Atlantinkadulle, Hernesaareen, Kalasatamaan, Töölöön ja Ilmalaan sekä uudet kääntösilmukat Jätkäsaareen ja Meilahteen. Tämän jälkeen kaikilla linjoilla on omat kääntöpaikat

Alkuperäiset matalalattianivelraitiavaunut ovat 1970- ja 1980-luvuilla rakennettuja korkealattiaisia kaupunkiraitiovaunuja, joihin on 2000- ja 2010-lukujen vaihteessa lisätty keskelle kolmas matalalattiaainen osa. Artic eli MLNRV3-vaunu on Helsingin toinen täysin matalalattiaainen raitiovaunu. Helsingissä oli käytössä myös 1999-2018 ADtranzin ja myöhemmin Bombardierin suunnittelema ja rakentama Variobahn-raitiavaunu, josta käytettiin HKL:n lyhennettä MLRV (Matalalattiaraitiovaunu). Kalustotyyppi jäi kuitenkin Helsingissä lyhytikäiseksi, sillä Variobahnissa ei ollut kääntyviä telejä, jonka vuoksi se sopi erittäin huonosti Helsingin mäkiselle ja mutkaiselle raitiotieverkolle. Artic-raitiavaunu onkin kehitetty nimenomaan korjaamaan Variobahn-kaluston esille tuomat ongelmat, ja se on siten täysin HKL:n omia tarpeita varten kehitetty. Kalusto on tilattu Suomesta silloiselta Transtechilta, joka on kalustoa rakennettaessa myyty tšekkiläiselle Škoda Transportation a.s.:lle. Yrityskaupan jälkeen Articia on kehitetty edelleen, ja se kuuluu nykyisin Škodan ForCity Smart –tuoteperheeseen. Helsingin lisäksi tämän tuoteperheen raitiovaunuja on tilattu jossain muodossa Tampereelle, Mannheimiin ja Ostravaan. Lisäksi Schöneichen kaupungissa Berliinin laidalla on käytössä kaksi Helsinkiin alkujaan tehtyä koesarjan vaunua.

Rakenteilla olevaan Raide-Jokeriin otetaan käyttöön raitiovaunu, josta on käytetty mallinimeä Artic XL. Artic XL on päivitetty versio Artic-raitiavaunusta, joka on toetutettu pidemtämällä alkuperäistä Artic-vaunua ja muuttamalla se kaksisuuntavaunuksi. Artic XL-vaunun leveys on 2 440 millimetriä ja se on kantaverkon raitiovaunuista poiketen varustettu kahdella ohjaamolla ja molemmin puoleisilla ovilla, mahdollistaen operoinnin kumpaankin suuntaan. (Škoda,2017)

Helsinki eroaa muiden Pohjoismaiden pääkaupungeista siinä, että raitioiteita ei koskaan päätetty lakkauttaa toisen maailmansodan jälkeen vallalla olleen autoistumiskehityksen yhteydessä. Tukholmassa raitioliikenne lakkasi pääosin 3. syyskuuta 1967 maan siirtymässä oikeanpuoleiseen liikenteeseen. Kööpenhaminassa puolestaan liikenne päättyi 22. huhtikuuta 1972. Oslon raitioiteita oli ajettu pikkuhiljaa alas jo vuodesta 1960 alkaen, mutta vuoden 1973 öljykriisin seurauksena lakkauttamistahtia hidastettiin ja vuonna 1977 lopulta tehtiin päätös, että raitioverkon alasajo lopetetaan. Tukholmassa raitiotiet korvautuivat pääasiassa metrolla eli Tunnelbanalla, Kööpenhaminassa puolestaan lähijunalla eli S-Togilla. Myös Oslolla osaa esikaupunkiraitioiteista muutettiin metrokseksi eli Tunnelbaneksi. Isoin ero Helsingin ja muiden pääkaupunkien raitioiteiden välillä olikin se, että Helsingissä raitioverkko palveli nimenomaan kantakaupunkia, kun muissa pääkaupungeissa raitioiteilla oli merkittävä osuus esikaupunkien runkoyhteyksissä. Tämän vuoksi näitä linjoja on erityisesti Tukholmassa muutettu alasajon sijaan puhtaaksi raskaksi metrolienteeksi.

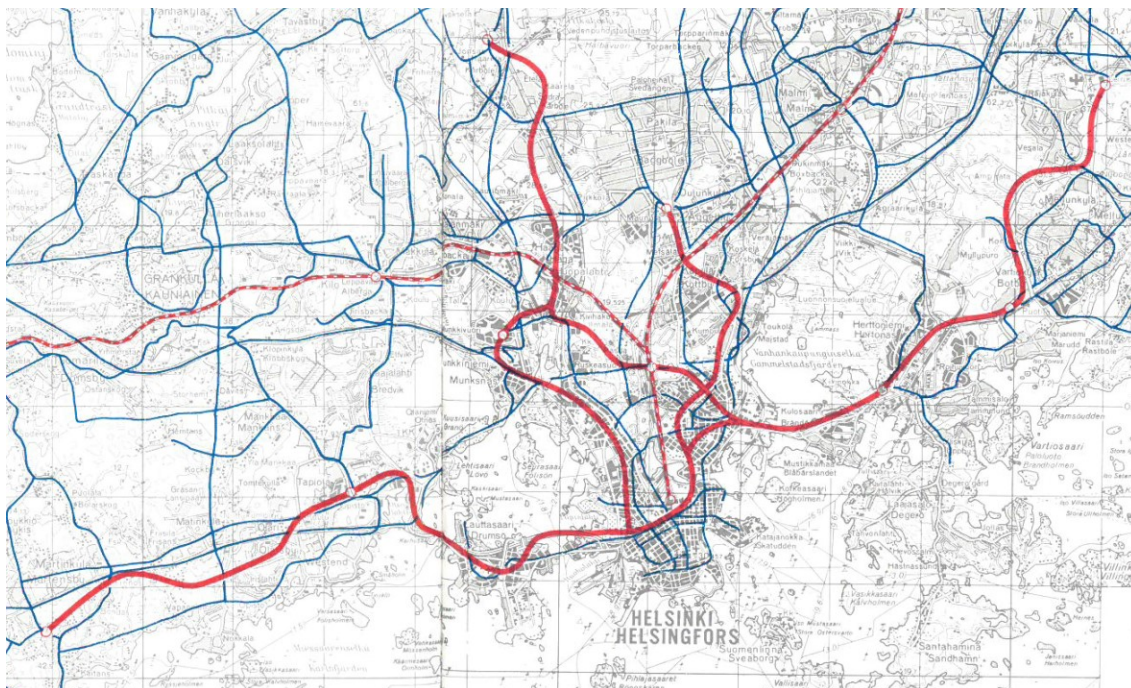
### 2.1.2 Helsingin metro ja metrosuunnitelmat

Helsingin metrojärjestelmä on ollut toiminnassa elokuusta 1982 saakka. Ensimmäisen vaiheen rakentaminen kesti poikkeuksellisen pitkään, sillä päätös metron rakentamisesta oli tehty kaupunginvaltuustossa jo vuonna 1969. Tätä edelsi 14 vuoden suunnittelutyö,

jossa selvitettiin, miten Helsingin esikaupunkiliikenne tullaan toteuttamaan kaupungin kasvaessa.

Nykyisin Helsingin seudulla on liikennöityä metrorataa kahden kaupungin alueella, Helsingissä ja Espoossa. Espooseen rata laajeni marraskuussa 2017 Länsimetro-hankkeen myötä. Metrosta puhuttaessa ennen vuotta 2017 avattuja osuuksia kutsutaan kantametroksi ja laajennusta Länsimetroksi. Metrorataa on myös Vantaan kaupungin alueella, sillä Mellunmäen metroaseman kääntöraiteet sijaitsevat osin Vantaan puolella rajaa. Metroa operoidaan virallisesti kahdella linjalla, M1 kulkee Matinkylästä Vuosaareen ja M2 Tapiolasta Mellunmäkeen. Ruuhka-aikaan molempia linjoja operoidaan viiden minuutin vuorovälillä, jolloin yhteisellä osuudella eli Tapiola-Itäkeskus-osuudella on kahden minuutin vuoroväli. Helsingin metroa liikennöidään 90-metrisellä kalustolla, joka koostuu joko kahdesta kaksivaunuisesta yksiköstä tai yhdestä nelivaunuisesta yksiköstä. Metrokalustoa on kolmelta eri aikakaudelta: M100 on alkuperäisen metron liikennöintiä varten hankittu kalusto, M200 on hankittu 90-luvulla Vuosaaren laajennusta varten ja M300 on valmistettu 2010-luvulla Länsimetron liikenteeseen. M100 ja M200-yksiköt koostuvat kahdesta vaunusta ja M300 neljästä vaunusta. Vuoteen 2016 asti arkisin metroa operoitiin kolmella M100- tai M200-yksiköllä, jolloin metrojunien pituus oli 135 metriä. Länsimetron suunnitellusta avajaispäivästä eli elokuusta 2016 alkaen käytössä ollut maksimipituus on ollut 90 metriä, sillä Länsimetron asemalaiturit on rakennettu lyhyemmiksi kuin kantametron osuudella.

Yksi laajimmista metroverkkoselvityksistä on toteutettu vuonna 1968 osana Wilbur Smith & Associates ja Insinööritoimisto Pentti Polvisen *Helsingin kaupungin liikennetutkimusta*. Liikennetutkimuksessa asetettiin neljä eri skenaariota, jonka mukaan Helsingin kaupungin ja ympäröivien kuntien tulisi kehittää liikennejärjestelmää. (Smith W. & Polvinen P., 1968) Vaikka Smith-Polvisen liikennetutkimusta on jälkikäteen arvosteltu suurista autoliikenteen priorisoinneista, oli kaikissa skenaarioissa myös hyvin paljon metrolinjoja. Lyhyimmillään metroverkosto olisi ollut A-vaihtoehdossa, jossa metroa olisi ollut 37 kilometriä. C ja D -vaihtoehtoisissa metroverkoston pituus olisi ollut 60 kilometriä ja O ja B -vaihtoehtoisissa 90 kilometriä. Smith-Polvisen suosituksen mukainen metroverkko on esitetty kuvassa 1. Jos otetaan huomioon Länsimetron pidennys, joka on osassa Smith-Polvisen suunnitelmia, on koko Helsingin metron pituus 41,1 kilometriä. Jos mukaan lasketaan myös Vantaankoskelle menevä osuus, on metroa toteutettu Helsingissä yhteensä 49,7 kilometriä.



**Kuva 1: Helsingin joukkoliikennejärjestelmä Smith-Polvisen suunnitelman suosituksen mukaan (Smith et. al. 1968)**

Lopulta metron ensimmäinen vaihe avautui matkustajaliikenteeseen 1. kesäkuuta 1982, jolloin Hakaniemi-Itäkeskus-osuus avautui ruuhka-aikaan liikenteelle. Ensimmäinen vaihe eli Kampin ja Itäkeskuksen välinen osuus oli valmis maaliskuussa 1983, joskin Sörnäisten metroasema valmistui vasta syyskuussa 1984. Tämän jälkeen metro laajeni pienissä erissä ensin Kontulaan 1986, sitten Mellunmäkeen 1989 ja lännessä Ruoholahteen 1993. Ensimmäinen uusi haara valmistui vuonna 1998, kun yhteys valmistui Itäkeskuksesta Vuosaareen. Tässä vaiheessa otettiin myös uudet M200-sarjan vaunut käyttöön. Alkuperäiseen metrolinjaukseen jätettiin myös kaksi asemavarausta myöhemmin rakennettavaksi. Nämä molemmat on nykyään rakennettu: Kaisaniemen metroasema valmistui 1995 ja Kalasataman metroasema 2007. Vuoden 1998 jälkeen seuraava laajennus valmistui vasta vuonna 2017 Länsimetron muodossa. Työtä kirjoittaessa on rakenteilla vielä yksi lisäosa, Länsimetron toinen vaihe Matinkylästä Kivenlahteen.

Helsingin metron rakentamiseen on liittynyt paljon epäselvyyksiä. Peräti 13 vuoden rakennusajan lisäksi kalustohankinnat päätyivät lopulta oikeuteen asti, sillä kaupunginjohtajan ja metrotuimiston johtajan todettiin ylittäneen valtuutensa tehdessään metrovaunutilauksen. Tästä tapahtumasarjasta käytetään nimitystä metrojupakka, ja se johti lopulta metrotuimiston johtajan vankeusrangaistukseen lahjuksen vastaanottamisesta. Myös muiden metron valmisteluun osallistuneiden henkilöiden todettiin ottaneen lahjuksia vastaan, mutta tuomiota ei voitu antaa, sillä rikokset olivat näiltä osin jo vanhentuneita. (Oksanen, K., 2016) Myöskään Länsimetron rakentaminen ei sujunut ongelmitta. Projektin edetessä kustannusarvio paisui ja hanke myöhästyi huomattavasti. Hankearviossa Länsimetron ensimmäisen vaiheen hinnan piti olla noin 715 miljoonaa euroa, kun lopullinen summa oli noin 1,185 miljardia euroa. Nämä luvut eivät kuitenkaan ole täysin vertailukelpoisia, sillä hankkeen laajuus kasvoi koko rakentamisen ajan, ja yleissuunnitelman ja rakentamisen valmistumisen välisen rakentamisen rakennuskustannusten nousu vääristää myös lukuja. Vertailukelpoisin luvuin hankkeen kustannukset ylittyivät alle 10 %. (Länsimetro, 2019)

Metro oli myös alun perin tarkoitettu rakentaa täysin automaattisena, ja tätä varten koesarjan vaunut poikkesivatkin huomattavasti lopullisista M100-sarjan vaunuista. Lopulta

metro rakennettiin kuljettajaohjauksen varaan. Automatisointi on kuitenkin ollut esillä jatkuvasti, ja 2000-luvulla se siirtyi uudestaan toteutusvaiheeseen. Helsingin kaupungin liikennelaitos tilasi vuonna 2008 koko metron automatisoinnin Siemensiltä. Automatisointia rakennettiin ja testattiin vuosia, kunnes vuonna 2015 HKL purki sopimuksen. (Salomaa, M. 2018) Sopimuksen purkuun johtaneet osat päätyivät myöskin oikeuteen, joka käsittelee asiaa vielä tätä työtä kirjoittaessa. Automatisointi tulee kuitenkin vielä uudelleen ajankohtaiseksi. Nykyisen matkustajasimuloinnin mukaan ilman automatisointia nykyisen metron kapasiteetti loppuu 2030-luvun alkuun mennessä.

## 2.2 *Pikaraitiotie*

Pikaraitiotiellä tarkoitetaan raitiotiestä kehitettyä raideliikennejärjestelmää, joka kulkee pääosan matkastaan erotettuna muusta liikenteestä omalla kaistallaan tai omassa maastokäytävässä. Erottamalla raitiotie muun liikenteen seasta saadaan nostettua nopeutta ja ennakoitavuutta ja vähennettyä häiriöherkkyyttä, sillä ajoneuvojen kulkeminen ei ole yhtä lailla riippuvainen muun liikenteen ruuhkista.

Pikaraitiotiellä ei ole virallista määritelmää Suomessa, eikä termi *pikaraitiotie* ole myöskään vakiintunut. Pikaraitiotie-termiä käytetään yleisesti ulkomaisista järjestelmistä puhuttaessa, mutta Suomessa termiä käytetään, mikäli asia halutaan sellaiseksi luokitella. Esimerkiksi Tampereen raitiotieallianssi ei käytä viestinnässään pikaraitiotie-termiä, vaikka Tampereen raitiotie täyttääkin monta pikaraitiotien määritelmää.

Kiskoliikenteen luokittelussa kaluston ja järjestelyiden keveys on avainasemassa, ja näitä on avattu taulukossa 1. Raskaiden metrojen tarkoituksena on toimia runkoyhteytenä, joka kuljettaa suuret määrät ihmisiä kaukaisten lähiöiden ja keskustan työpaikkakeskittymien välillä. Kevyempien kaupunkimetrojen tarkoituksena on puolestaan toimia myös keskusta-alueen sisällä matkoilla. Raskas metro sopii tähän huonommin pidempien asemavälien ja syvemmän linjauksen vuoksi, kaupunkimetro puolestaan sopii huonosti kaukaiisiin lähiöihin, sillä korkean pysäkkitiheyden takia matka-ajat venyvät helposti liian pitkiksi. Näiden muotojen rajat ovat siis hyvin häilyviä ja luokitus perustuu osin subjektiivisiin havaintoihin.

Eri kielillä voidaan korostaa eri liikennemuotojen eroja eri tavoin. Esimerkiksi englannin kielellä pikaraitiotien lähin käännös on *light rail*, joka eroaa huomattavasti tavallisesta kaupunkiraitiotiestä käytettävästä termistä *tramway* tai amerikanenglannin sanasta *streetcar*. Termien kanssa voi tulla myös brändisyyistä ongelmia, esimerkiksi itäisessä Lontoossa operoiva *Docklands Light Railway* on huomattavasti raskaampi järjestelmä kuin pikaraitiotiet ja se täyttää monta metron määritelmää, mutta tässä yhteydessä on loogisempaa luokitella se kevytmetroksi, kun samasta kaupungista löytyy myös raskaampi metrojärjestelmä.

Eri raideliikennemuotojen luokittelussa on tärkeintä miettiä linjaa tai linjastoa aina kokonaisuutena. Linja voidaan luokitella pikaraitiotieksi, jos se pääosin täyttää pikaraitiotien määritelmät, yksittäiset poikkeamat eivät muuta tilannetta. Esimerkiksi Tukholmassa Tvärbanan-pikaraitiolinja on pääosin hyvin raskas raitiotiejärjestelmä, joka kulkee suuren osan matkasta omassa maastokäytävässä erossa muusta liikenteestä ja siinä on kulunvalvonta koko matkalla, myös sekaliikenneosuuksilla. Linjalla on kuitenkin myös useita osia, joissa se kulkee muun liikenteen seassa sekaliikennekaistoilla. Linja on kuitenkin luokiteltavissa pikaraitiotieksi, koska linjan luonne kokonaisuudessaan nopean ja korkean palvelutason linja, jolloin lyhyet alemman tason ratkaisut eivät vaikuta luokitukseen.

Taulukko 1: Eri kaupunkiraidemuotojen esimerkkikohteita ja tyypillisiä ominaisuuksia.

	Esimerkit	Tyypilliset ominaisuudet
<b>Kaupunkiraitiotie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Helsingin raitiotiet</li> <li>Amerikkalaiset streetcar-järjestelmät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pääosin sekaliikennettä</li> <li>Nopeus yleensä alle 20 km/h</li> <li>Lyhyt pysäkkiväli, 200-500 metriä</li> </ul>
<b>Pikaraitiotie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tampereen raitiotie</li> <li>Raide-Jokeri</li> <li>Tukholman Tvärbanan</li> <li>Saksalaiset Stadtbahn-järjestelmät pintaosuuksilla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Etuudet muuhun liikenteeseen</li> <li>Fyysinen erottelu muusta liikenteestä</li> <li>Pysäkkiväli 500-1 000 metriä</li> <li>Nopeus noin 25-30 km/h</li> </ul>
<b>Kevytmetro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Saksalaiset Stadtbahn-järjestelmät keskustaosuuksilla</li> <li>Lontoon Docklands Light Railway</li> <li>Kööpenhaminan metro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Täysi tasoerottelu</li> <li>Nopeus noin 25-30 km/h</li> </ul>
<b>Kaupunkimetro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lontoon metro</li> <li>Pariisin metro</li> <li>Berliinin metro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asemaväli noin 500-1 000 metriä</li> <li>Nopeus noin 20-35 km/h</li> </ul>
<b>Raskas metro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Helsingin metro</li> <li>HSL:n kaupunkirataliikenne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asemaväli noin 800-1 500 metriä</li> <li>Nopeus noin 30-50 km/h</li> </ul>
<b>Taajamajuna</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>VR:n lähijunaliikenne Helsingin seudulla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asemaväli yleensä kilometristä kymmeniin kilometreihin</li> <li>Keskinopeus vaihtelee suuresti palveltavan alueen mukaan</li> </ul>

## 2.3 Joukkoliikennepohjainen kaupunkisuunnittelu

*Transit-oriented development* (TOD) eli joukkoliikennepainotteinen maankäytön kehittäminen on maankäytön suunnittelufilosofia, jonka tarkoituksena on keskittää maankäytön kehittäminen joukkoliikenteen läheisyyteen. (Knowles, 2012) TOD-suunnittelussa on tärkeää, että maankäyttöä ja liikennettä suunnitellaan yhteistyössä niin, että asemien ympäristöön voidaan sijoittaa helposti saavutettavasti suuri määrä asumista ja palveluita. TOD-suunnittelua voi lähestyä kahdesta suunnasta: uusilla alueilla maankäyttö tulee sijoittaa uusien ratojen ja asemien ääreen mahdollisimman tiheästi. Vanhemmilla alueilla puolestaan joukkoliikennekäytävät voidaan suunnitella niin, että linjausta ja asemia asetetaan niin, että ne palvelisivat mahdollisimman laajaa asukaskuntaa. Toisaalta myös olemassa olevilla alueilla joukkoliikenteen asemat voidaan sijoittaa syrjään nykyisestä rakennuskannasta, mikäli aseman ympäristöön halutaan rakentaa uutta ja tiiviimpää rakennuskantaa. TOD-suunnittelu voi periaatteessa tarkoittaa minkä tahansa joukkoliikenteen varteen perustuvaa maankäyttöä. Suunnittelussa yleisesti kuitenkin suositaan raideliikenteen eri muotoja, sillä ne mahdollistavat suurimman mahdollisen kapasiteetin ja siten parhaimman palvelutason.

Joukkoliikennepainotteinen maankäytön suunnittelu ei ole mikään uusi suunnittelufilosofia. Yksi pisimmälle viedyistä TOD-suunnitelmista on Kööpenhaminassa vuonna 1947 suunniteltu sormimalli, jonka mukaan kaupunkiseutua rakennettiin vuosikymmeniä viiden säteittäisen lähijunaradan varteen. (Knowles, 2012) TOD-suunnittelussa joukkoliikenteen fokus myös siirtyy takaisin mahdollisimman kattavaan matkustajien palvelutsoon, ei niinkään mahdollisimman suureen matkanopeuteen. Helsingin metron itäisen osuuden suunnittelu on esimerkki suunnittelusta, jossa liikenteen ja maankäytön yhdistämistä ei ole huomioitu. Metro on pääosin rakennettu Itäväylän varteen, jolloin asemien välittömässä läheisyydessä ei asu juurikaan ihmisiä, vaan rakennukset ovat etäämmällä asemasta ajoneuvoliikenteen aiheuttaman estevaikutuksen vuoksi. Länsimetrossa puolestaan on haettu käännteistä ratkaisua: sijoittamalla linjaus maan alle on mahdollistettu uu-

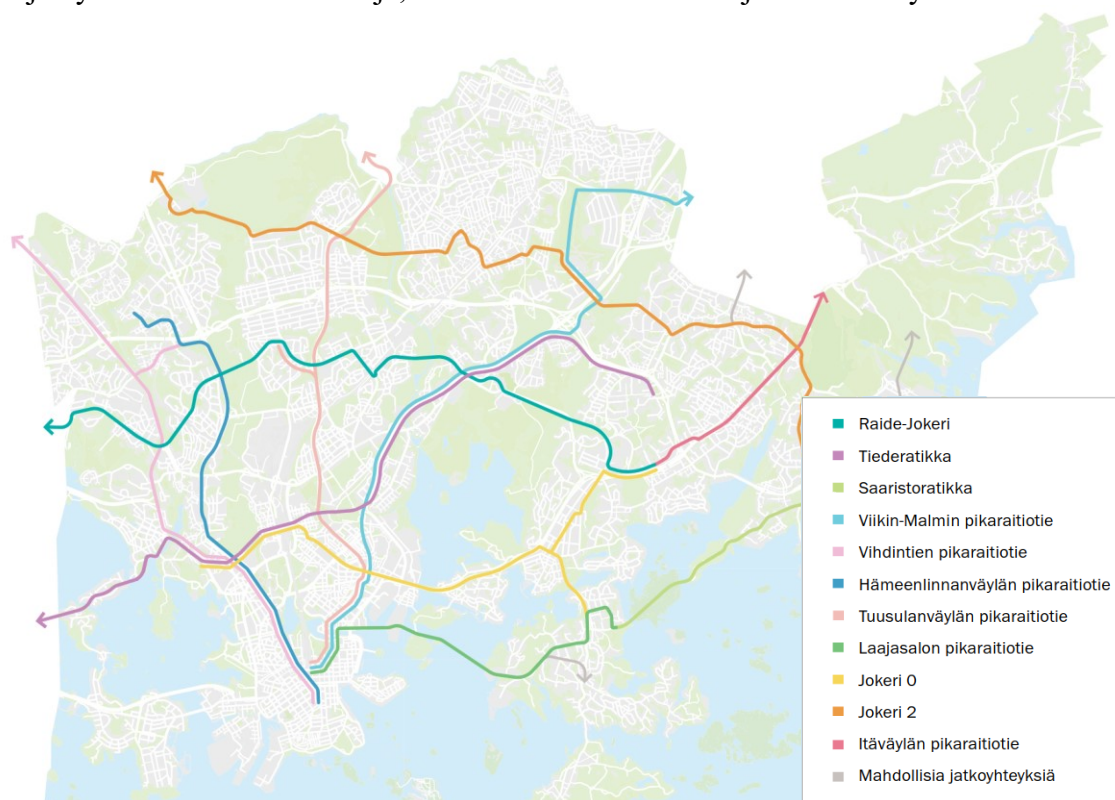


sien alueiden kehittäminen mahdollisimman tiiviisti, samalla kuitenkin minimoiden uuden infrastruktuurin aiheuttamat estevaikutukset. Lännen suuntaan olisi ollut myös mahdollista sijoittaa Länsimetro samaan maastokäytävään Länsiväylän kanssa, aivan kuten idässä itäväylän kanssa, mutta suunnittelussa päädyttiin korkeampaan palvelutasoon nopeuden ja matalampien kustannusten sijaan.

## 2.4 Helsingin yleiskaava

Helsingin kaupunki hyväksyi uusimman yleiskaavan vuonna 2016 ja se sai lainvoiman vuonna 2018. Yleiskaavan tarkoituksena oli tiivistää kaupunkirakennetta ja lisätä uusia alueita joukkoliikenteen, erityisesti raideliikenteen varrelle. Uuden yleiskaavan tarkoituksena on varmistaa kaavoitusmaan riittävyys ainakin 2030-luvulle, sillä olettamuksella ja väestöennusteella, että vuonna 2050 Helsingissä asuisi 800 000 asukasta. Yleiskaava poikkeaa aiemmista yleiskaavoista sillä, että kaupunkirakennetta lähdettiin levittämisen sijaan todella voimakkaasti tiivistämään. Uusi yleiskaava kattaa koko Helsingin, pois lukien vuonna 2009 liitetyn Östersundomin alueen.

Uusi yleiskaava on myös toteutettu uudella tavalla. Edellinen yleiskaava oli vuodelta 2002, vaikka se saikin lainvoiman vasta vuonna 2007. Aiemmissa yleiskaavoissa eri käyttötarkoitusten alueet oli merkitty selvärajaisesti rasterikuvana. Uudessa yleiskaavassa puolestaan koko Helsingin alue oli jaettu 100x100 metrin ruutuihin, joissa määritellään kyseisen karttaruudun pääasiallinen käyttötarkoitus. Ruutujen reunat eivät siten ole tarkkoja kyseisten alueiden reunoja, mikä luo omalta osaltaan joustavuutta yleiskaavaan.



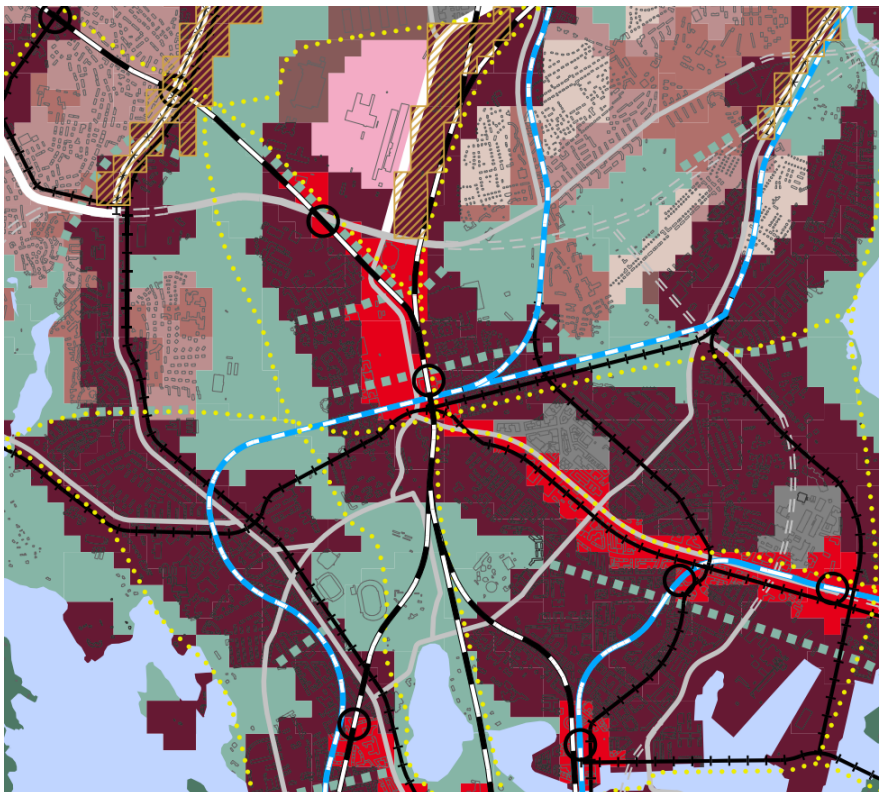
Kuva 2: Helsingin yleiskaavan mukainen pikaraitiotieverkko (KSV 2016)

Raidehankkeissa keskiössä ovat pikaraitiotielinjat, jotka kulkisivat nykyisten sisääntuloväylien paikalle rakennettavilla kaupunkibulevardeilla. Uusien pikaraitiotieiden olisi tarkoitus muodostaa korkeatasoinen julkisen liikenteen verkko Helsinkiin. Yleiskaavan mukainen pikaraitiotieverkko on esitetty kuvassa 2. Kaupunkibulevardien tarkoitus oli ottaa

nykyisin moottoriteiden varsilla oleva melualue asuinkäyttöön, kun sisääntuloväylien rakenne muutettaisiin kaupunkiin sopivaksi kaduksi, kuten nykyiset Mäkelänkatu ja Manterheimintie, ja asuntoja rakennettaisiin aivan uusien katujen läheisyyteen. Kaupunkibulevardeilla tilaa saisivat myös säteittäiset pikaraitiotiet. Suunnitelmia oli kaikkien sisääntuloväylien bulevardisoinneista, mutta Länsiväylän, Turunväylän, Hämeenlinnanväylän ja Lahdenväylän bulevardisoinnit kumottiin maakuntakaavan vastaisina korkeimmassa hallinto-oikeudessa. Sen sijaan Vihdintien ja Tuusulanväylän bulevardien suunnittelu sai jatkoa. (KHO 2018:151) Bulevardien lisäksi Vartiosaaren ja Ramsinniemen osalta yleiskaavan merkinnät kumottiin kokonaisuudessaan, kun taas bulevardien kohdalla kumottiin bulevardisoinnit sekä joitakin ruutuja väylien ympäristöstä. Näiltä osin voimaan jää siis vuoden 2002 yleiskaava ja osayleiskaavat. Korkeimman hallinto-oikeuden päätökset kuitenkin hylkäsivät vain bulevardisoinnin karttaruudut, raitioteiden merkinnät jäivät voimaan vuoden 2002 yleiskaavan päälle.

Bulevardisointihankkeita on käynnissä useissa paikoissa ympäri Eurooppaa. Yksi esimerkki löytyy Göteborgista, jossa kaupungista etelään johtavaa leveää moottoritietasoisista väylää Dag Hammarskjöldsledeniä muutetaan kaupunkimaisempaan suuntaan: ajoneuvoille varattua aluetta kavennetaan, keskelle lisätään raitiotieyhteys sekä uusia rakennuksia lisätään aivan tien reunaan kiinni. Isoimpana erona Helsingin bulevardisuunnitelmiin tulisi kadun alle myös lähijunayhteys betonitunnelissa. (Göteborgin kaupunki, 2019)

Kuvassa 3 on esitetty yleiskaavaote Pasilan kohdalta. Yleiskaavan mukaan Pasilassa kohtaavat pikaraitiotie, raskas raideliikenne, kaupunkirataliikenne ja metro. Kaupunkirataliikennettä varten Pasilan eteläpuolelle on rakennettu Pissararata, joka olisi pisanmuotoinen kaupunkiratalenkki keskustan ali. Lenkki alkaisi ja päättyisi Pasilaan niin, että siinä olisi matkan varrella asemat Töölössä, keskustassa ja Hakaniemessä. Töölön asema sijaitisi Oopperan ja Töölöntorin välillä, Keskustan asema Kampin ja Rautatien torin metroasemien yhteydessä ja Hakaniemen asema Hakaniemen metroaseman suuntaisesti.



Kuva 3: Pasilan ympäristö Helsingin yleiskaavassa (KSV 2016)



Yleiskaavan tueksi on tehty yleiskaavan toteuttamisohjelma, joka hyväksyttiin marraskuussa 2017. Toteuttamisohjelmassa käsitellään toimia, joilla yleiskaavan linjaukset saadaan muutettua suunnitelmasta toteutukseen, erityisesti millä aikataululla. Yleiskaavan toteuttamisohjelman mukaiset hankkeet vaiheistettuna on lueteltu taulukossa 2. Eri hankkeet on ryhmitelty kolmeen eri vaiheeseen: ensimmäinen vaihe on kiireelliset hankkeet, jotka tulisi toteuttaa vuoteen 2030 mennessä. Toisessa vaiheessa on keskipitkän tähtäimen hankkeita, joiden toteutusaikataulu on 2030-luvulla. Kolmannessa vaiheessa on pitkän aikavälin hankkeet, joiden toteutus on aikaisintaan 2040-luvulla. Koska toteutussuunnitelma on vuodelta 2017, siinä on useita hankkeita, joiden yleiskaavallinen edellytys on Korkeimman hallinto-oikeuden päätöksen myötä kumottu. Myös ensimmäisessä vaiheessa on yksi hanke, Vartiosaaren ratikka, jonka toteuttamista ei voida nykyisellään jatkaa.

*Taulukko 2:* Helsingin yleiskaavan toteuttamisohjelman liikennehankkeet vaiheittain. (KYMP 2017) Kursoroitujen hankkeiden yleiskaavalliset perusteet on kumottu KHO:n päätöksen myötä.

I-vaihe	II-vaihe	III-vaihe
Toteutusaika 2018-2030	2030-2040	2040-
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Vartiosaaren ratikka</i></li> <li>• Viikin-Malmin ratikka</li> <li>• Vihdintien bulevardi 1. vaihe</li> <li>• Tuusulanväylän bulevardi 1. vaihe</li> <li>• Jokeri 2: Malmi-Kontula</li> <li>• Östersundomin metro</li> <li>• Keskustan maanalainen kokoojaku</li> <li>• Runkobussilinjaston kehittäminen</li> <li>• Baanaverkon kehittäminen</li> <li>• Kantakaupungin raitiotieverkon kehittäminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Hämeenlinnanväylän bulevardi</i></li> <li>• <i>Länsväylän bulevardi</i></li> <li>• Jokeri 2: Kontula-Vuosaari</li> <li>• Tiederatikka</li> <li>• Jokeri 0</li> <li>• Laajasalontien ratikka</li> <li>• Hakamäentien läntinen tunneli</li> <li>• Runkobussilinjaston kehittäminen</li> <li>• Baanaverkon kehittäminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vihdintien bulevardin toinen vaihe</li> <li>• Tuusulanväylän bulevardin toinen vaihe</li> <li>• Itäväylän bulevardi</li> <li>• <i>Lahdenväylän bulevardi</i></li> <li>• <i>Turunväylän bulevardi</i></li> <li>• Jokeri 2: Malmi-Myyrmäki</li> <li>• <i>Saaristoratikka: Vartiosaari-Vuosaari</i></li> <li>• Vuosaaren sataman raideliikenteen runkoyhteys</li> <li>• Töölön maanalainen raideliikenteen runkoyhteys</li> </ul>

Toteuttamissuunnitelman projekteista tunneliosuuksiin liittyisivät suoraan Jokeri 0 ja Tiederatikka sekä Töölön maanalainen raideliikenteen runkoyhteys. Olennaisesti liittyviä hankkeita olisivat myös Viikin-Malmin ratikka ja Laajasalontien ratikka, sillä nämä muodostavat merkittävän osan liikenteestä, joka siirtyisi tunneliin.

## 2.5 Pasila

Pasila on Helsingin 17. kaupunginosa, joka sijaitsee noin kolme kilometriä Helsingin ydinkeskustasta pohjoiseen. Pasila koostuu neljästä erillisestä eri aikaan rakennetusta alueesta: Länsi-, Itä-, Keski- ja Pohjois-Pasilasta. Näistä alueista Itä-Pasila on rakennettu 1970-luvulla ja siellä on suuri määrä julkisia virastorakennuksia. Länsi-Pasila on puolestaan rakennettu 1980-luvulla ja se sisältää myös toimistorakentamista itä- ja pohjoisreunassa, minkä lisäksi Keskuspuiston laidalla on paljon asuinrakentamista. Pohjois-Pasilassa sijaitsee nykyisin VR:n Ilmalan varikko sekä Postin lajittelukeskus. Osa-alueita kehitetään myös voimakkaasti, alueelle on nousemassa kahdessa osassa Postipuiston asuinalue. Pasilan osa-alueet on esitelty kuvassa 4.

Tämän työn kannalta olennaisin alue on Keski-Pasila, joka jää Itä- ja Länsi-Pasiloiden väliin. Osa-alueella ei ole ollut koskaan merkittävää rakennuskantaa, sillä se on ollut 1870-luvulta saakka ratapihana. Ennen ratapihan rakentamista alueella sijaitsi Töölönjärvi (Tölö träsk), joka kuivatettiin ratapihan rakentamista varten. Pasilan rautatieaseman

alue koostui kahdesta alueesta: tavaraliikenteelle varatusta ratapihasta eli Pasilan alarata-pihasta sekä Pasilan matkustaja-asemasta eli yläratapihasta.

Helsingin satamatoimintojen siirryttyä vuoden 2009 alussa Vuosaareen, loppui tavarajuna-liikenne eteläisessä Helsingissä. Tämän vuoksi Pasilasta vapautui merkittävän kokoi-nen alue kehitettäväksi rakennusmaaksi. Uutta maata vapautui valtavasti, sillä Pasilan alaratapihalla oli vuonna 2009 27 rinnakkaista raidetta ja matkustaja-asemalla 11 raidetta ja 5 laituria. Tavaraliikenteen päätyttyä alaratapihan kaikki raiteet on purettu Veturitallien pohjoispuolelta ja matkustaja-aseman aluetta laajennettu Pasilan läntinen lisäraide –hank-keessa yhdellä raiteella ja yhdellä laiturilla.



Kuva 4: Pasilan osa-alueet ja suunniteltu uusi rakentaminen alueella (Helsingin kaupunki, 2019)

Keski-Pasilaa rakennetaan kolmessa vaiheessa. Alueet ovat etelästä pohjoiseen järjestyk-sessä tornitaloalue, kaupallinen keskus ja ratapihakorttelit. Tornitaloalue on tunnettu pro-jektinimillä *Helsinki High Rise* ja *Trigoni*, joka on voittaneen hankkeen nimi. Kaupallinen keskus sisältää suuren kauppakeskuksen, uuden rautatieaseman, toimistotorneja, hotellin ja asuintaloja. Näistä käytetään yhdessä alueen rakentajan YIT:n hankenimeä *Tripla*, kauppakeskuksen nimen ollessa *Mall of Tripla*. Triplan nimi on myös viittaus alueen his-toriaan, uusi rautatieasema on Pasilan kolmas rautatieasema. Alkuperäinen asema oli 1920-luvulla Vammelhoelta siirretty asemarakennus, joka sijaitsi radan suuntaisesti rata-pihan itäpuolella. 1980-luvulla tämä asemarakennus siirrettiin keskemälle Itä-Pasilaa ja nimettiin Rauhanasemaksi. Vuonna 1990 valmistui toinen Pasilan asema, joka aiemmasta asemasta poiketen sijaitsi raiteiden yläpuolella. Toinen asemarakennus oli käytössä vain

27 vuotta ja se purettiin vuonna 2017. Toisesta asemasta purettiin kuitenkin vain kadun pinnan yläpuolelle tulleet rakenteet, kansi, jonka päällä rakennus sijaitsi, säilytettiin ja uusi rautatieasema on rakennettu saman, vahvistetun kannen päälle. Uusi asema otettiin käyttöön yhdessä muun Triplan kauppakeskuksen kanssa lokakuussa 2019. (HSL, 2019a)

## **2.6 Miksi maan alle**

Maan alle rakentamisen ehdoton etu on se, että maan alla ei tarvitse väistellä olemassa olevia rakennuksia. Maan alla ei myöskään tarvitse vältellä luontokohteita tai muuten herkkiä alueita. Maan alla on myös paikkoja, joissa rakentaminen on vaikeaa tai kiellettyä, mutta maan alla on lähtökohtaisesti kuitenkin vähemmän väisteltäviä asioita kuin maan päällä, isoimpana erona kävelijät ja autoilijat. Helsingissä on kuitenkin rakennettu maan alle jo pitkään, koska lähellä maanpintaa sijaitseva hyvälaatuinen kallioperä on hyvin soveltuvaa maanalaiselle rakentamiselle. Tämän vuoksi uusien pitkien linjojen mahdollittaminen maan alle voi olla vaikeaa. Tämä siitäkkin huolimatta, että tilaa maan alla pitäisi olla paljon enemmän, kun kyseessä on kolmiulotteinen maailma, toisin kuin maan päällä jossa pääasiassa tulisi siltoja lukuun ottamatta pysyä maan pinnassa kiinni.

Maanalainen rakentaminen on kallista, sillä itse infran rakentamisen lisäksi tulevat tunnelin louhimiskulut ja muukin rakentaminen on kalliimpaa tunnelissa, sillä tilaa on paljon rajallisemmin ja materiaalin saaminen paikan päälle voi olla vaikeampaa. Siitä huolimatta maanalainen rakentaminen voi olla monessa eri tilanteessa suhteellisesti halvempaa tai hyödyllisempää kuin maan päälle rakentaminen. Olemassa olevassa kaupunkirakenteessa on tietenkin selvää, että maan alle saa tehtyä suurempia linjoja kuin maan päälle. Liikenneväylien rakentaminen maan alle voi olla taloudellisesti järkevää myös rakentamattomassa maastossa, mikäli se vapauttaa arvokasta rakennusmaata asuinrakentamiseen infrastruktuurin sijaan. Maanalainen linjaus myös vähentää muita pintalinjauksen häiriötekijöitä. Maan pinnalla liikenneväylät aiheuttavat melua sekä muodostavat esteettistä haittaa ja estevaikutuksen. Suuri häiriötekijä estevaikutuksen lisäksi on ehdottomasti melu. Maanalainen rakentaminen siirtää liikenteen aiheuttaman melun suoraan maan alle pois asutuksen läheisyydestä.

Tällä tutkimusalueella pikaraitiotien rakentaminen maan alle mahdollistaa suoran linjauksen Pasilasta länteen, sillä Länsi-Pasilan länsipuolella alkaa Helsingin keskustuisto, jonka läpi ei voi mennä pintaratkaisulla vaan se olisi kierrettävä. Keskustuiston kiertävät pintaratkaisut puolestaan ovat erittäin hitaita ja mutkittelevia, sillä reitti puiston eteläpuolitse on pitkä ja siellä olevat kadut ovat ahtaita ja vilkkaasti liikennöityjä. Kaikkein ongelmallisin kohta pintalinjauksessa olisi liittyminen Mannerheimintiehen. Kesällä 2017 rakennettu Reijolankadun yhteys on äärimmäisen ruuhkainen ja se pystyy välittämään nykyisen kaupunkiraitioliikenteen, mutta ei pikaraitiotietä sen edellyttämällä sujuvuudella. Osasyys tässä on linjauksessa ja katutilan jakautumisessa: länteen menevälle raitiokaistalle ei ollut mahdollista rakentaa omaa kaistaa, vaan raitiotie on sekaliikennekaistalla tässä kohdin. Tällainen ratkaisu ei olisi hyväksyttävää pikaraitiotietasoisista järjestelyistä rakennettaessa, mikä myös näkyy tätä varten tehdyissä simuloinneissa.

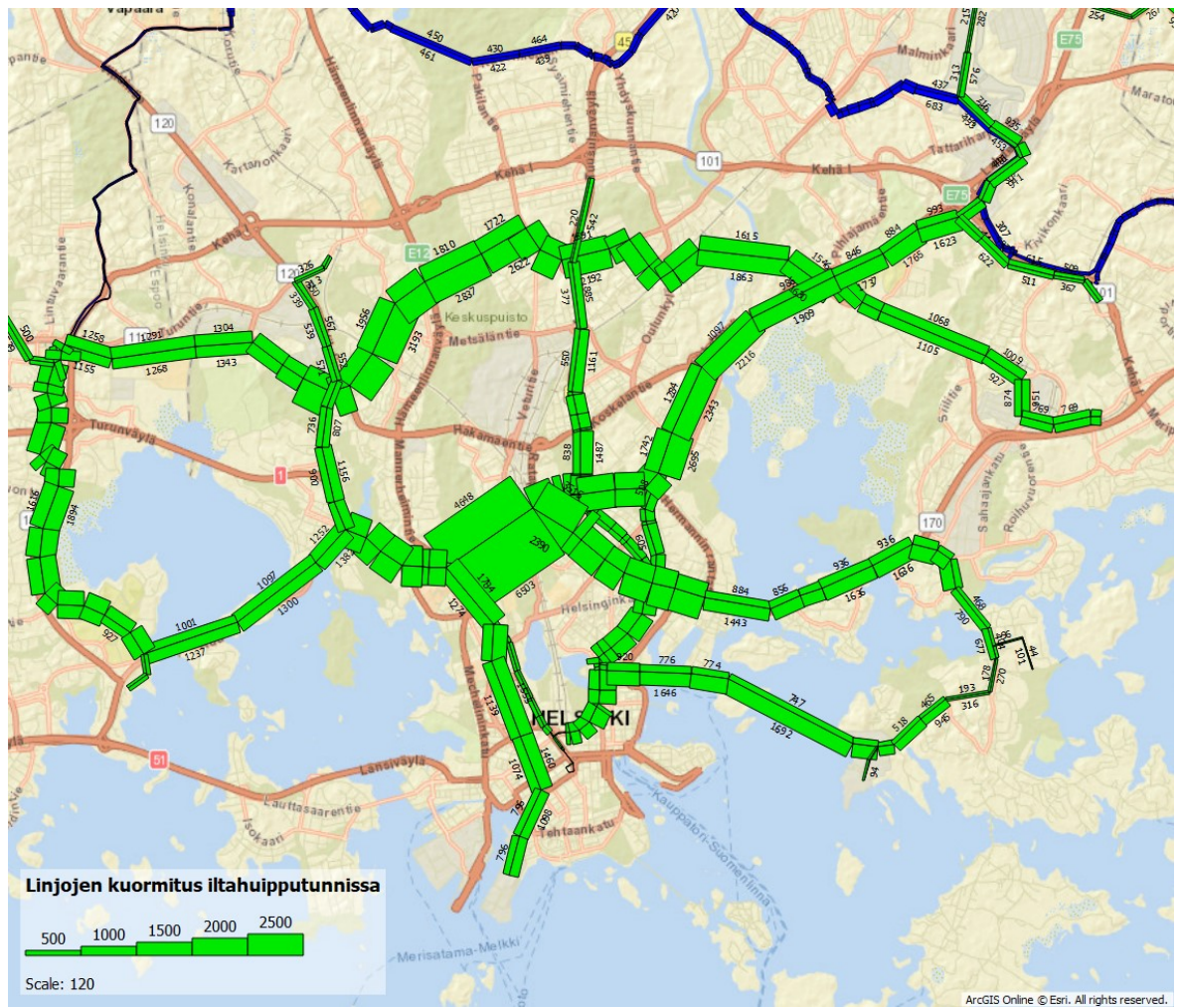
Diplomitöitä varten luotiin skenaarioita erilaisista joukkoliikenneratkaistuista Pasilassa. Skenaarioita oli neljä erilaista, jossa tarkasteltiin erilaisia linjasto- ja yhteysratkaistuista Pasilan poikittaisyhteyksien parantamiseksi. Skenaariot on esitetty tarkemmin taulukossa 3. Kaikkiin vaihtoehtoihin on kuitenkin lisätty Viikin-Malmin raitiotie (VIIMA), joka kulkisi Hämeentietä ja Lahdenväylän maastokäytävää keskustasta Viikin kautta Malmin lentoasemalle. Eri vaihtoehtoisissa raitiotie jatkuisi Malmin lentoasemalta Jakomäkeen tai Hakunilaan, jossa se yhdistyisi Vantaan raitiotiehen.

Taulukko 3: Tutkittujen vaihtoehtojen linjastot

Skenaario	Yhteydet
Ve0	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ei muutoksia Pasilan yhteyksiin, nykyiset runkolinjat 500 ja 510 busseina</li> <li>Raitiolinja Malmin lentoasemalta keskustaan</li> </ul>
Ve1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Runkolinja 500 raitiotienä Munkkiniemi-Pasila-Herttoniemi-Laaajasalo, pintaratkaisu välillä Meilahti-Pasila</li> <li><i>Tiederatikka</i> Otaniemi-Meilahti-Pasila-Viikki-Myllypuro, pintaratkaisu välillä Meilahti-Pasila</li> <li>Raitiolinja Hakunilasta Malmin lentoaseman kautta keskustaan</li> </ul>
Ve2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Runkolinja 500 raitiotienä Munkkiniemi-Pasila-Herttoniemi-Laaajasalo, tunneliratkaisu välillä Meilahti-Pasila</li> <li><i>Tiederatikka</i> Otaniemi-Meilahti-Pasila-Viikki-Myllypuro, tunneliratkaisu välillä Meilahti-Pasila</li> <li>Raitiolinja Sotungista Malmin lentoaseman kautta keskustaan</li> </ul>
Ve3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Runkolinja 510 raitiotienä Otaniemi-Meilahti-Pasila-Herttoniemi-Laaajasalo, tunneliratkaisu välillä Meilahti-Pasila</li> <li>Raitiolinja Myllypuro-Viikki-Pasila-Töölö-Kamppi-Hernesaari, tunneliratkaisu välillä Pasila-Hernesaari</li> <li>Raitiolinja Sotungista Malmin lentoaseman kautta keskustaan</li> </ul>

Kaikki skenaariot sisältävät vuoden 2030 MAL-skenaarion mukaiset raidehankkeet, kuten Vihdinbulevardin raitiotien Lassilasta Mannerhaimintietä keskustaan, Tuusulanbulevardin raitiotien Pakilasta Mäkelänkatua keskustaan, Kruunusillat ja raitiotien Laajasalosta keskustaan sekä Pissararadan. Kyytsönen (2019) käsittelee diplomityössään *Saavutettavuus sosiaalisesta näkökulmasta – case Helsingin poikittaiset pikaraitiotiet* eri vaihtoehtojen vaikutuksia ja kuormituksia. Kuvassa 5 esitetään Ve3:ssa olevan pikaraitiotieverkon simuloitu kuormitus iltahuipputunnin aikaan. Tähän työhön on valittu esimerkiksi vaihtoehto 3 siksi, että se sisältää kaikkein eniten uutta tunnelirataa. Esitetyn vaihtoehdon valinnan ei ole tarkoitus olla suositus rakennettavuuteen tai kannattavuuteen, sillä tämä diplomityö ei vastaa niihin kysymyksiin. Tässä vaihtoehdossa Keskuspuiston alittavassa tunnelissa kuormitus on iltahuipputunnin aikana korkeimmillaan noin 6 500 matkustajaa, mutta tätä osuutta jakaa kaksi linjaa. Yhden linjan reitillä korkein kuormitus on noin 3 500 matkustajaa raitiotietunnelissa Pasilan aseman itäpuolella. Tämä matkustajamäärä on pikaraitiotielle erittäin korkea, mikä suurella todennäköisyydellä on seurausta tunneliratkaisun luomasta hyvästä palvelutasosta ja korkeasta liikennöintinopeudesta. Eri skenaarioista on kuitenkin löydetty välejä, joiden simuloitujen kuormitusten perusteella raiteiden rakentaminen olisi erittäin kannattavaa. Mallintamiseen toki liittyy suuria epävarmuustekijöitä, minkä vuoksi tarkempi tarkastelu on välttämätöntä.





Kuva 5: Kuormitus pikaraitiotieverkolla iltahuipputunnin aikaan Ve3-vaihtoehdossa (Kyytsönen, S. 2019)

### 3 Viranomaissäädökset ja vastuut

Metro- ja raitioliikenne on hallinnollisesta näkökulmasta eriytetty niin rautatieliikenteestä kuin kaupunkien ajoneuvoliikenteestä. Metro- ja raitioliikenteestä käytetään yhteisesti nimeä kaupunkiraideliikenne.

Joukkoliikenteen järjestäjä Helsingissä on Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä. Se on Helsingin, Espoon, Vantaan, Keravan ja Kauniaisten kaupunkien sekä Tuusulan, Kirkkonummen, Sipoon ja Siuntion kuntien yhteinen joukkoliikennelainomainen, jonka tehtävänä on järjestää ja tilata joukkoliikennepalveluita kuntien alueella.

Helsingin kaupungin raitioteiden kantaverkolla raitioliikenteen operaattori on Helsingin kaupungin liikenneliikelaitoksen liikennöintiyksikkö, joka toimii myös metron operaattorina. Tampereen raitiotielle operaattoriksi on valittu VR Group, joka laajentaa toimintaansa näin rautatieliikenteestä myös kaupunkiraideliikenteeseen.

Toisin kuin rautateillä, joiden rakentamista ja operointia säädellään Euroopan unionin määräyksissä erittäin tiukasti, raitioteillä on huomattavia vapauksia kansallisissa säädöksissä. Tämä johtuu siitä, että Euroopan tasolla ei ole nähty tarpeelliseksi säädellä tarkkaan ja yhtenäistää kaupunkiraideliikennettä, sillä nämä järjestelmät ovat yleensä eristettyjä muusta infrastruktuurista eivätkä valtioiden tai kaupunkien väliset erot muodostu ongelmiksi. (Riipinen 2015) Pääosa Euroopan pikaraitioteiden suunnitteluperusteista perustuu Saksan kaupunkiraideliikenteen ohjeeseen *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen*, josta käytetään yleisesti vain lyhennettä BOStrab.

#### 3.1 Lainsäädäntö

Lainsäädännöllisestä näkökulmasta Suomessa on ollut samaa haluttomuutta sääntelyyn kuin Euroopan tasolla. Ensimmäinen kaupunkiraideliikennettä koskeva laki on säädetty vasta vuonna 2015, laki kaupunkiraideliikenteestä (1412/2015). Metroliikenteessä laki tuli voimaan maaliskuun alusta 2016 ja raitioliikenteessä vuoden 2018 alusta. Vaikka rautatieliikenne ja kaupunkiraideliikenne pidetäänkin hallinnollisesti erillään toisistaan, yhdistettiin rautatielaki ja laki kaupunkiraideliikennelaista yhden lain eli raideliikennelain (1302/2018) alle.

Kaupunkiraideliikenteen turvallisuudesta oli viimein tarpeen säädellä, sillä aiemmassa järjestelmässä oli käytännössä sama taho eli Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos samanaikaisesti henkilöliikenteen operaattori, raideinfran ja kaluston omistaja sekä turvallisuusviranomainen. Tällaisessa tilanteessa ei voitu taata kaupunkiraideliikenteen riippumatonta turvallisuusvalvontaa. Lakia säätäessä vuonna 2015 kaupunkiraideliikennettä oli ainoastaan Helsingin puolella, mutta Länsimetron rakentaminen oli laajentamassa metroa Espoon kaupungin puolelle ja Tampereen kaupungin raitiotiesuunnitelmat olivat etenevässä päätöksentekoon. Koska ongelmia oli ollut jo yhden kaupungin osalta, oli tarpeen luoda yhtenevät säännöt valtion tasolla siitä, mikä taho on vastuussa mistäkin asiasta kaupunkiraideliikenteessä. Ennen lainsäädännön astumista voimaan, sääntelystä ja sen puutteesta oli jo tehty kanteluja eduskunnan oikeusasiamiehelle, mikä oli omiaan vauhdittamaan lain säätämistä. (Riipinen 2015)

Lainsäädännössä myös määritellään kaupunkiraideliikenteessä turvallisuustehtäviä hoitavien kelpoisuusvaatimuksia. Turvallisuustehtävillä tässä kontekstissa tarkoitetaan kuljettajaa tai liikenteenohjaajaa, jos hänellä on mahdollisuus vaikuttaa tai muuttaa kuljettajan tekemiä päätöksiä. Tämä tarkoittaa siis sitä, että automatisoidun kulunvalvonnan alaisilla rataosuksilla myös liikenteenohjaaja on yhtäläisessä vastuussa ajoneuvon kuljettamisesta kuin ajoneuvon ohjaamossa istuva kuljettaja, ja häntä koskevat samat pätevyys- ja terveysvaatimukset.

### **3.2 Liikenne- ja viestintävirasto**

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom on perustettu vuoden 2019 alussa selkeyttämällä liikenne- ja viestintäministeriön alaista virastokenttää. Liikenne- ja viestintävirastoon liitettiin aiemmat Viestintävirasto ja Liikenteen turvallisuusvirasto sekä osia Liikennevirastosta. Toisaalta kaikkien tekniikkalajien liikenteenohjauksen ja -hallinnan tehtävät siirtyivät Liikenteen turvallisuusvirastosta uuden Traffic Management Finland –konsernin hoidettaviksi. Liikennevirastoon jäi vain väyläomaisuuden ylläpito ja kehittäminen, minkä vuoksi virasto muutti nimensä Väylävirastoksi.

Kaupunkiraideliikenteen valvontaviranomainen on Suomessa Liikenne- ja viestintävirasto. Kaupunkiraideliikenteen, johon tässä yhteydessä lasketaan raitioliikenne sekä metrolinnoitus, on ollut Traficomien tai sen edeltäjän Liikenteen turvallisuusviraston (Traficom) valvonnassa vasta maaliskuusta 2016 tai tammikuusta 2018 alkaen, riippuen kulkumuodosta. Sitä ennen operaattori itse oli vastuussa liikenteen valvonnasta. Tämä oli omiaan aiheuttamaan ristiriitoja, esimerkiksi Helsingissä niin metro- kuin raitioliikenteessä liikenteen operaattorina, kaluston ja infran omistajana sekä valvojana toimi Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos (HKL).

Laki kaupunkiraideliikenteestä on selkeyttänyt huomattavasti raitio- ja metrolinnoituksen vastuuja. Lain mukaan nykyisin on erikseen valvoja eli Liikenne- ja viestintävirasto sekä toiminnanharjoittajia. Toiminnanharjoittajia ovat sekä kaupunkiraideliikenteen operaattorit, että kaupunkiraideliikenteen infrastruktuurin omistajat. Toiminnanharjoittajilla tulee olla oma turvallisuusjohtamisjärjestelmä

Toiminnanharjoittajan eli sekä infrastruktuurin omistajan, että liikenteenharjoittajan on maksettava vuosittain valvontamaksu Traficomille. Valvontamaksu on laissa määritetty 40 000 euroon. Kaupunkiraideliikennelain mukaan valvontaviranomaisen vastuulle kuuluu kolmen asian valvonta:

- 1) metro- ja raitioliikennejärjestelmää koskevien vaatimusten noudattaminen
- 2) rataverkon haltijan ja liikenteenharjoittajan turvallisuusjohtamisjärjestelmän vaatimustenmukaisuus ja suorituskky
- 3) varautuminen poikkeusoloihin ja häiriötilanteisiin metro- ja raitioliikennejärjestelmässä

Näitä asioita valvoakseen virastolla on oikeus päästä tarkastusmielessä käsiksi kaikkien toiminnanharjoittajien toimitiloihin sekä muihin tarkastuksen kannalta oleellisiin tiloihin, järjestelmiin ja tietoihin, myös salassapitosäännösten alaisiin tietoihin. Mikäli Traficom tunnistaa virheitä toiminnanharjoittajan toiminnassa, on virastolla oikeus ryhtyä tehostekeinoihin tilanteen muuttamiseksi. Tehostekeinoja ovat uhkasakko, teettämismuokaus tai keskeyttämismuokaus. Mikäli tehostekeinot eivät muuta tilannetta ja virhe on tarpeeksi merkittävä, on virastolla ääritapauksessa mahdollisuus myös kieltää toiminnan harjoittaminen. (1412/2015) Traficomien tehtävänä on myös ylläpitää kaupunkiraideliikennerekisteriä.

Rekisteri sisältää kaikkien toiminnanharjoittajien tiedot, jotta se voi valvoa laissa määrättyjä tehtäviään.

### **3.3 Helsingin seudun liikenne –kuntayhtymä**

Helsingin seudun liikenne (HSL) on vuonna 2010 toimintansa aloittanut kuntayhtymä, jonka tarkoituksena on tilata ja huolehtia jäsenkuntiensa joukkoliikenteestä. HSL perustettiin jatkamaan entisen Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) joukkoliikenteen palveluiden järjestämistä ja koordinoitua. Perustajajäseninä olivat Helsingin, Espoon, Vantaan, Keravan ja Kauniaisten kaupungit ja Kirkkonummen kunta, joista Kerava ja Kirkkonummi eivät olleet mukana YTV:n toiminnassa. Myöhemmin jäseniksi ovat liittyneet myös Sipoon (2012), Tuusulan ja Siuntion (2018) kunnat. Siuntio liittyi kuntayhtymään, vaikka se ei kuulu Helsingin seutuun. HSL:n ulkopuolisista kunnista Helsingin seutuun lasketaan vielä Järvenpään ja Hyvinkään kaupungit sekä Nurmijärven, Mäntsälän, Pornaisten ja Vihdin kunnat. Vuonna 2019 Järvenpää harkitsee liittymistä HSL-alueeseen. Tämä poistaisi yhden suuren monimutkaisen aluerajauksen Helsingin seudun lähijunaliikenteestä, sillä Tuusulan liittyttyä HSL:n jäseneksi 2018 kulkevat Tampereen suunnan lähijunat Tuusulasta Helsinkiin osin HSL-alueen ulkopuolella Järvenpään läpi, sillä Jokelan asema sijaitsee Järvenpään pohjoispuolella.

Helsingin seudun liikenteen kulut muodostuvat liikenteen operointikuluista, infrastruktuurikuluista, palvelukuluista, henkilöstökuluista sekä muista kuluista. Henkilöstökulut sisältävät toki vain HSL:n oman henkilöstön, kuljettajien kulut sisältyvät operointikuluihin. Vuonna 2018 toimintamenot olivat yhteensä 708 miljoonaa euroa tulojen ollessa yhteensä 716,9 miljoonaa euroa, eli vuonna 2018 HSL:n talous oli ylijäämäinen. Vuonna 2018 kuitenkin osa kunnista maksoi korotettua kuntaosuutta, jotta voitiin varautua vuonna 2019 käyttöön otettuun lippu-uudistukseen eli vyöhykemallin käyttöönottoon. Varautuminen oli tarpeen, sillä uuteen järjestelmään siirtymisessä on aina omat riskinsä liittyen ihmisten matkustushaluun ja määriin, varsinkin kun uudessa järjestelmässä suuri osa ihmisiä pystyi Helsingin keskusta liikkuessaan ostamaan halvemman lipun. (HSL 2019b)

Helsingin seudun liikenteen rahoitus tulee pääasiassa kahdesta lähteestä: lipputuloista ja kuntaosuuksista. Tulot jakautuvat näiden välille noin puoliksi, hieman vaihdellen vuosittain. Laskemalla kuntaosuudet suhteessa kyseisen kunnan alueella olevan joukkoliikenteen järjestämiskustannuksiin sekä infrakustannuksiin saadaan joukkoliikenteen subventioaste. Koska noin puolet rahoista tulee kuntaosuuksista, subventioaste on noin 50 %, vaihdellen aiempien yli- ja alijäämien takia. HSL:n vuoden 2019 talousarvion mukaan koko alueen subventioaste on 50,4 %, puhdistettuna aiempien vuosien yli- tai alijäämistä. Kuntien subventioasteet vaihtelevat voimakkaasti riippuen siitä, mihin liikennemuotoon kunnan joukkoliikenne perustuu. Matalin subventioaste on Keravalla, jossa se on 26,1 % ja korkein Espoossa, jossa subventioaste on 56,5 %. Helsingin kaupungin subventioaste on 50,3 %. Keravan matala subventioaste johtuu kalliista keskimääräisestä lipunhinnasta, kaupungin pienestä pinta-alasta, mutta korkeasta asukastiheydestä sekä matalista infrakustannuksista, sillä kaupunki sijaitsee D-vyöhykkeellä ja liikenne perustuu vahvasti vanhaan raideliikenteeseen. Espoossa puolestaan subventioastetta nostaa Länsimetron valmistuminen, sillä vielä vuonna 2015 Espoon subventioaste oli 44,9 %. Kuntien subvention lisäksi valtio tukee suoraan HSL:n toimintaa suurten kaupunkien joukkoliikennetuen muodossa. Valtion tuki on noin 4,8 miljoonaa euroa vuodessa, joka kattaa noin prosentin HSL:n budjetista. Valtion tuki HSL:le on pienentynyt voimakkaasti, vuodesta 2014 vuoteen 2019 tuki on pienentynyt noin viidesosan. (HSL 2019b)



Infrakustannukset tarkoittavat sekä olemassa olevien infrastruktuurirakenteiden ylläpitoa että uusien infrastruktuurihankkeiden rahoittamista. Virallisen määritelmän mukaan infrakustannukset ovat HSL:n maksama korvaus infrastruktuurin omistaville kunnille infrastruktuurin käytöstä. Vaikka infrastruktuurin rakentaminen ja rahoittaminen ovat alueen kuntien sekä valtion tehtävä, infrakustannukset kierrätetään puoliksi HSL:n budjetin kautta. HSL:n perussopimuksen mukaan infrakustannuksien pääoman poistoista ja koroista 50 % käypään arvoon nähden tulee HSL:n maksettavaksi, joten kuntasubventio huomioon ottaen noin neljäsosa infrastruktuurin rakentamisesta ja myöhemmin ylläpidosta siirtyy matkustajien suoraan maksettavaksi. Infrakustannukset on mahdollista tässä järjestelmässä kohdistaa nousujen mukaan suoraan asianosaisten kuntien maksettavaksi.

Infrakustannuksissa otetaan huomioon kaikki raitiotie- ja metrolienteistä aiheutuvat kustannukset, sekä kaupunkirataliikenteessä HSL:n perustamisen jälkeen avatut osuudet. Tämän vuoksi ainoastaan Kehärata aiheuttaa infrakustannuksia HSL:n talouteen, Keravan, Leppävaaran ja Vantaankosken kaupunkiratojen ollessa valtion ja kaupunkien suorarahoituksessa.

### **3.4 Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos**

Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos on Helsingin kaupungin omistama liikelaitos, jonka tehtävänä on omistaa ja ylläpitää kaupunkiraidelinfrastruktuuria Helsingin seudulla, operoida Helsingin metroa ja kantaverkon raitioliikennettä ja sekä omistaa ja ylläpitää Helsingin kaupunkiliikenteen kalustoa. HKL onkin sisäisesti organisoitu näiden kolmen asian ympärille eri yksiköihin: liikennöintiyksikköön, kunnossapitoyksikköön ja infra- ja kalustoyksikköön.

Helsingin seudun liikenteen tarkoituksena on pitkällä aikavälillä kilpailuttaa kaikki liikennöinti. Viimeistään tässä vaiheessa HKL:n organisaatiomalli ei ole enää kestävä, sillä EU:n kilpailulainsäädännön mukaan liikelaitosten on erittäin vaikea osallistua kilpailutettuun toimintaan. Kilpailutetussa toiminnassa, jossa muut halukkaat ovat osakeyhtiöitä, on liikelaitoksilla epäreilu kilpailuasema, sillä liikelaitoksella ei ole samanlaisia liiketoiminnallisia riskejä kuin osakeyhtiöillä. Yksityisen yhtiön näkökulmasta epäreilun kilpailuasetelman muodostaa esimerkiksi se, että liikelaitos ei voi mennä konkurssiin.

Kilpailutetun operoinnin kannalta on myös erittäin epäselvää, mikäli jokin kilpailuun osallistuva taho, tässä tapauksessa siis HKL, omistaisi valmiiksi sekä käytettävän kaluston että ratainfrastruktuurin. Rautatieliikenteessä Euroopan unionin määräyksestä raitinfra ja operointi on vähintään erotettava toisistaan, mutta nämä eivät siis koske kaupunkiraideliikennettä. Raideliikenteen kilpailutus toimii kuitenkin hyvin eri tavalla kuin linja-autoliikenteen kilpailutus. Linja-autoliikenteessä operoidaan yhtiöiden omalla kalustolla tiettyjä poikkeuksia, esimerkiksi sähköbussikokeiluja lukuun ottamatta. Raideliikenteessä tämä ei yleensä ole mahdollista toteuttaa, sillä raidekalusto on huomattavasti kalliimpaa ja hitaampaa hankkia, mutta sen käyttöikä on paljon pidempää. Linja-autokaluston käyttöikä on yleensä yhden sopimuskauden mittainen, kun taas raidekalustossa käyttöikä on vuosikymmeniä.

Tukholma on hyvä esimerkki läheisestä ulkomaisesta kohteesta, jossa myös raideliikenteen operointi on kilpailutettu. Tukholmassa alue (Region Stockholm, entinen Stockholms läns landsting eli Tukholman läänin maakäräjät) omistaa sekä infran että kaluston, mutta jokaisessa raideliikennemuodossa on oma operaattori.

Yhtiöittäminen ei ole ennennäkemätön asia edes HKL:n historiassa. HKL oli myös linja-autoliikenteen operaattori vuoden 2004 loppuun asti. Vuosien 1995 ja 2004 välillä paikallisbussiliikenne toimi HKL-bussiliikenne nimen alla omana yksikkönään HKL:n alaisuudessa. Vuoden 2005 alusta alkaen bussiliikenne yhtiöitettiin täysin riippumattomaksi kaupungin omistamaksi Helsingin bussiliikenne osakeyhtiöksi, joka toimi kilpaillulla markkinalla samoin ehdoin kuin kilpailijat. Vuonna 2015 Helsingin bussiliikenne myös yksityistettiin, kun se myytiin Koiviston auto –konsernille.

## 4 Kohde-esimerkit

Suomessa ei ole vielä käytössä todellisia pikaraitiotieitä, eikä myöskään kevyen kiskoliikenteen tunneliosuuksia, joten on syytä tutkia mitä muita vastaavia hankkeita on tehty niin kotimaassa kuin ulkomailla ja mitä niistä voi oppia. Tässä kappaleessa on tutustuttu ja esitelty myös suomalaisia pikaraitiotiehankkeita niiltä osin, kun ne sisältävät maanalaista rakentamista.

### 4.1 Raide-jokeri

Raide-Jokeri on rakenteilla oleva pikaraitiotielinja Espoon Keilaniemen ja Helsingin Itäkeskuksen välillä. Raide-Jokerin nimi on lyhenne sanoista *Joukkoliikenteen kehämäinen runkolinja* ja sitä on operoitu runkolinjana elokuusta 2006 alkaen. Linja on Helsingin ensimmäinen bussein ajettava runkolinja ja sen linjanumero on 550.

Raide-Jokerin ensimmäiset suunnitelmat ovat valmistuneet jo vuonna 1992. Linja otettiin kuitenkin ensin käyttöön tavallisena bussireittinä 550 ja myöhemmin korotetun palvelutason runkolinjana. Runkolinjalla on harvempi pysäkkitiheys, tiheä vuoroväli, etuuksia liikennevaloissa ja avorahastus. Raide-Jokerin linjaus on ollut merkittynä Helsingin yleiskaavaan vuoden 1992 yleiskaavasta saakka.

Raide-Jokerin hankesuunnitelma valmistui tammikuussa 2016 ja saman vuoden huhtikuussa Suomen valtio lupasi osallistua linjan rakentamiskustannuksiin. Valtion rahoituksen varmistuttua niin Helsingin kuin Espoon kaupungit hyväksyivät rakennushankkeen. Raide-Jokerin rakentaminen alkoi kesäkuussa 2019 ja sen on arvioitu valmistuvan vuonna 2024. Hanke on hyväksytty molemmissa kaupunginvaltuustoissa kahdesti, sillä suunnittelun edetessä ja tarkentuessa alkuperäisen hankesuunnitelman mukainen hinta ylitettiin, minkä vuoksi uusi hyväksyntä valtuustoissa oli tarpeen.

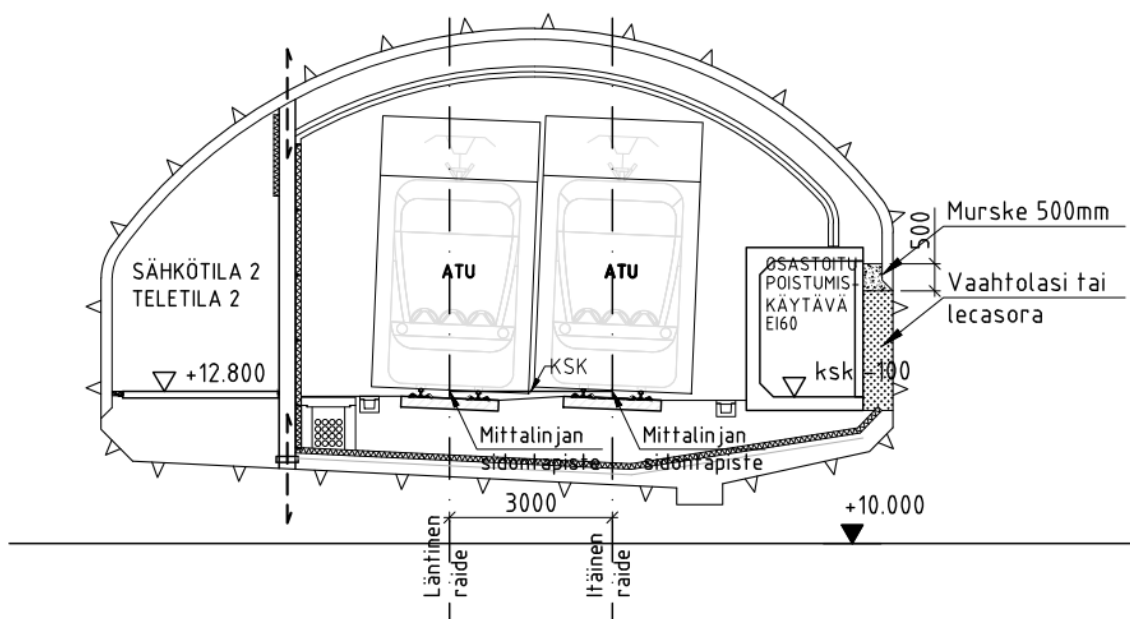
Raide-Jokeri toteutetaan allianssihankeena, jossa osallisina ovat tilaajapuolen edustajat, suunnittelukonsultit sekä rakennusyhtiöt. Tilaajapuolen edustajina ovat Helsingin ja Espoon kaupungit sekä Helsingin liikenneliikelaitos HKL, suunnittelupuolella konsulttitoimistot Ramboll Finland Oy, Sitowise Oy (hankkeen alussa Sito Oy) ja NRC Group Finland Oy (hankkeen alussa VR Track Oy) sekä urakoitsijoina YIT Oyj ja NRC Group Finland Oy. NRC Group Finland Oy:n suunnittelutoiminnot myytiin Sweco Finland Oy:lle, jolloin Swecosta tuli yksi allianssin osapuolista 1. marraskuuta 2019 alkaen. Allianssin toiminta koostuu kahdesta vaiheesta, allianssin kehitysvaiheesta (KAS) sekä allianssin toteutusvaiheesta (TAS). Virallinen rakennuspäätös tehtiin kehitysvaiheen jälkeen, ja toteutusvaiheessa siirrytään itse rakentamiseen, saman aikaisesti, kun viimeisiä suunnitelmia viimeistellään.

#### 4.1.1 Patterimäen tunneli

Patterimäen tunneli sijaitsee Raide-Jokerilla aivan Helsingin ja Espoon kaupunginrajalla. Tunnelissa Raide-Jokeri menee suoraan Patterimäen läpi Vermosta Pitäjänmäkeen. Tällä sijainnilla Raide-Jokerin linjaus on kaikkein kauimpana runkolinja 550 linjauksesta. Raide-Jokerin reitti päätettiin sijoittaa tunneliin Patterimäen läpi, sillä alueen katuverkko ei soveltuisi pikaraitiotielle. Espoon puolella linjaus oli päätetty siirtää maankäyttösyistä Leppävaaran itäpuolella Rantaradan eteläpuolelle. Vaihtoehtoisia reittejä olisi ollut kierto Takkatien kautta tai Pajamäen läpi. Takkatien tiealue on hyvin kapea ja mutkainen, jonka lisäksi sen alla on paljon kunnallistekniikkaa. Tämä reitti olisi hidastanut raitiolinjan kulkua merkittävästi. Eteläisempi vaihtoehto eli linjaaminen Pajamäen läpi olisi ollut myös

erittäin vaikea, sillä Pajamäentie on päättävä tie eikä Pajamäestä ole nykyisin muuta ajoneuvoreittiä ulos. Mikäli raitiotie olisi linjattu täältä läpi, olisi todennäköisesti pitänyt purkaa osittain nykyistä rakennuskantaa. (Kangas, L. 2019)

Patterimäen tunneli on yksiaukkoinen kallio- ja betonitunneli. Molempiin päihin rakennettavilla betonitunneliosuuksilla saatiin pidennettyä tunnelia luonnonsuojelualuetta pidemmäksi. Patterimäen tunneli on yhteensä noin 400 metriä pitkä ja se kaartuu lähes koko matkaltaan. Kaarre on niin merkittävä, että tunnelin läpi ei ole näköyhteyttä. Kuvassa 6 on esitetty Patterimäen kalliotunneliosuuden poikkileikkaus paalulta 9016. Kyseinen poikkileikkaus sijaitsee noin tunnelin puolivälissä, yhdeksän kilometrin päässä Keilaniemmen päätepysäkistä, josta etäisyydet eli linjan paalutus lasketaan.



Kuva 6: Patterimäen kalliotunnelin poikkileikkaus (Raide-Jokerin allianssi, 2019)

Tunnelin rakenteet aiheuttavat omia haasteita raitiotien operoinnille. Näköyhteyden puute tunnelin läpi on turvallisuusriski, varsinkin kun linjaa operoidaan ilman kulunvalvontaa. Toisen ajoneuvon lisäksi turvallisuusriskin tunnelissa voi aiheuttaa luvaton tunkeutuminen tunneliin. Teknisillä järjestelyillä on luotava sellainen järjestelmä, mikä estää raitiovaunun pääsyn tunneliin, mikäli sinne on päässyt jotain ulkopuolista.

## 4.2 Vantaan pikaraitiotie

Vantaan kaupunki suunnittelee myös pikaraitiotielinjan rakentamista. Reitti kulkisi lentoasemalta Aviapoliksen, Tikkurilan, Hakunilan ja Länsimäen kautta Mellunmäkeen. Reitin pituus on 19,3 kilometriä, josta noin 500 metriä sijaitsee Helsingin kaupungin puolella Mellunmäen metroaseman ja Länsimäen välissä. Vantaa käyttää itse omassa viestinnässään pikaraitiotielinjasta nimeä Vantaan ratikka. (Vantaan kaupunki, 2019)

Pikaraitiotiestä on valmistunut alustava yleissuunnitelma vuonna 2018 ja yleissuunnitelma syyskuussa 2019. Liikennöinti olisi tarkoitus aloittaa runkobussilinjana 570 vuonna 2021 ja mikäli päätös raitiotien rakentamisesta tehdään, rakentamisen olisi tarkoitus alkaa aikaisintaan 2024, jolloin valmistuminen saattaisi olla vuonna 2028. Yleissuunnitelmassa raitiotien rakentamista verrataan nimenomaan runkolinjavaihtoehtoon. Vantaan ratikan

on tarkoitus olla hyvin pikaraitiotiemäinen. 19,3 kilometrin linjapituudesta noin 18 kilometriä on tarkoitus sijoittaa omalle väylälle tai joukkoliikennekaduille. Koko matkalle tulisi yhteensä 26 pysäkkiparia, jolloin keskimääräinen pysäkkiväli olisi 770 metriä. Pysäkkiväli vaihtelisi alueittain, kaupunkimaisilla alueilla, kuten Tikkurilassa tai Hakunilassa, olisi pysäkkejä tiheämmässä kuin siirtymätyyppisillä osuuksilla. Matka lentoasemalta Mellunmäkeen kestäisi noin 47 minuuttia, joten keskinopeus olisi noin 25 km/h. Pysäkkitiheyden lisäksi myös keskinopeus vaihtelee eri osuuksilla. Tikkurilan tiiviisti rakennetulla alueella keskinopeus on pienimmillään 15 km/h, kun suurin kahden pysäkin välinen keskinopeus on 36 km/h Mellunmäen päätepysäkiltä lähdetessä. (Vantaa, 2019)

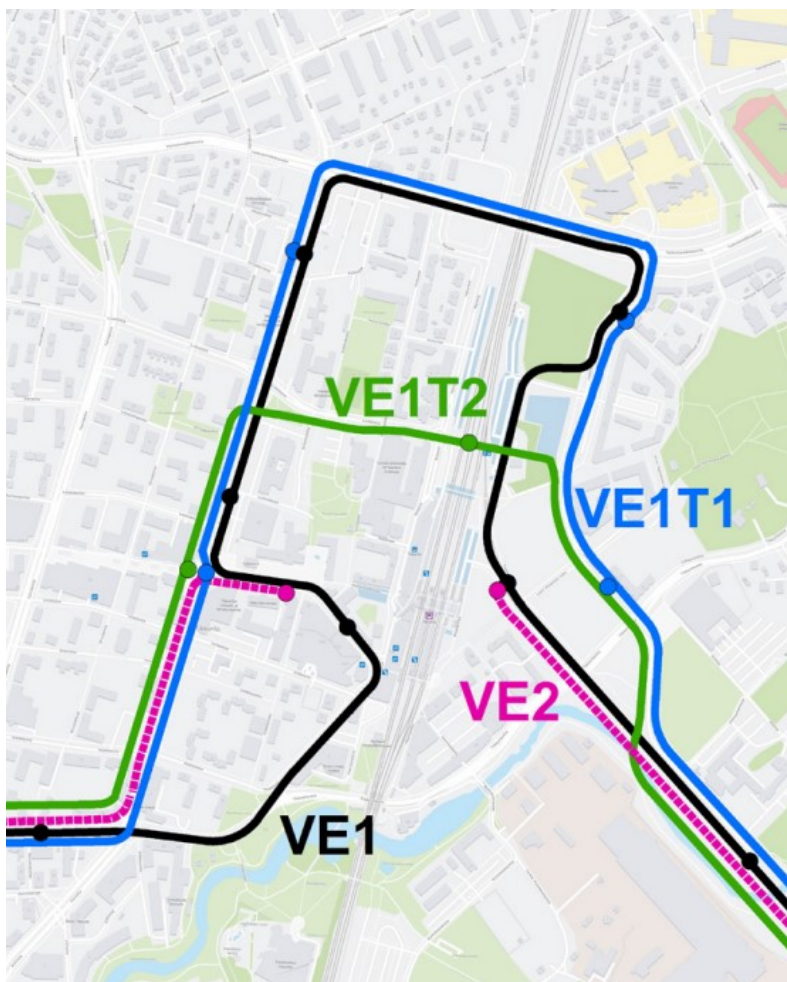
Alustavan yleissuunnitelman perusteella pitkän aikavälin hyödyt olisivat merkittävät Vantaan kaupungin alueella. Pitkän aikavälin skenaarioissa eri vaihtoehtoista riippuen päivittäisten nousujen määrä koko linjalla olisi 75 000 – 90 000 matkustajaa. Tämä vertautuu Raide-Jokeriin, jolla olisi vuonna 2030 91 000 matkustajaa vuorokaudessa ja 125 000 matkustajaa vuonna 2050. Kilometriä kohden Vantaan raitiotien kuormitus olisi siis 4 100 – 4 750 matkustajaa kilometriä kohden päivässä, kun taas kilometrimatkustajamäärä Raide-Jokerissa on eri skenaarioissa 3 650 – 5 000 matkustajaa päivässä kilometriä kohden.

Vantaan pikaraitiotien suurin ratkaisematon ongelmakohta on kohtaaminen Suomen pääradan kanssa Tikkurilassa. Yleissuunnitteluvaiheessa Tikkurilan kohdalle on esitetty neljää eri vaihtoehtoa. Vaihtoehdot VE1 ja VE1T1 kulkisivat olevassa olevaa katuverkkoa pitkin Tikkurilassa niin, että VE1 kulkisi radan länsipuolella aseman editse ja VE1T1 puolestaan kauempaa mahdollisimman suoraa reittiä ilman läheistä vaihtoyhteyttä Tikkurilan rautatieasemalle. VE2:ssa puolestaan Vantaan raitiotie rakennettaisiin kahdesta toisistaan irrallaan olevasta osasta, joiden päätepisteet olisivat Tikkurilan rautatieaseman molemmin puolin. Kolmas vaihtoehto eli VE1T2 veisi raitiotien uudessa tunnelissa suoraan Tikkurilan rautatieaseman ali Lummetieltä Jokiniemenkadulle.

Alustavassa yleissuunnitelmassa tunneli Tikkurilan rautatieaseman ali olisi selvästi kalkein vaihtoehto. Kokonaistaloudellisesti tilanne on kuitenkin toinen, sillä radan alittava reitti muodostaisi selvästi parhaan vaihtoyhteyden Tikkurilan rautatieasemalle ja täten parantaisi muualta junaradan varresta vaihtavien yhteyksiä parhaiten. Vaihtoehdossa VE1 toisaalta peittävyys Tikkurilan keskuksessa on kaikkein suurin, mikä omalta osaltaan nostaa sen käyttäjämäärää huomattavasti.

Perusvaihtoehdon eli VE1:n mukainen vuorokauden nousumäärä olisi 86 300 matkustajaa, kun vaihtoehdossa VE1T1 nousuja olisi 75 700 vuorokaudessa ja VE1T2 vaihtoehdossa 74 500 nousua. Tikkurilaan päättyvillä linjoilla nousujen määrä olisi läntisessä osuudessa 36 500 ja itäisessä osassa 46 600 eli yhteensä 83 100. Eri vaihtoehtojen vertaaminen pelkän nousumäärän mukaan on kuitenkin harhaanjohtavaa, sillä eri vaihtoehdot palvelevat erilaisia matkustajia. VE1- ja VE1T1-vaihtoehtojen välillä on kuitenkin huomioitava, kuinka paljon Tikkurilan aseman ohittaminen pienentää nousumääriä vuorokaudessa. VE1T2 eli tunneliratkaisu on toisaalta kilometrin lyhyempi kuin muut vaihtoehdot ja palvelee enemmän läpikulkevaa liikennettä kuin Tikkurilan sisäistä liikennettä. Tikkurilaan päättyvillä linjoilla taas nousumäärissä saattaa vaikuttaa läpikulkevan liikenteen laskeminen kahteen kertaan, sillä Tikkurilan läpi kulkeva liikenne joutuu nousemaan linjalle kahteen kertaan.

Alustavan yleissuunnitelmassa VE1T2-suunnitelmassa oli myös vaihtoehto, jossa Tikkurilan rautatieasema alitettaisiin huomattavasti etelämpänä, Asematieltä Värtehtäankadulle ja sieltä edelleen Jokiniemenkadulle. Tällä linjauksella raitiotien vaihtopysäkki tulisi aivan suoraan Dixi-kauppakeskuksen alle, tarjoten suoran vaihtoyhteyden liityntäliikenteen busseista ja rautatieasemalta. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan tutkittu alustavassa yleissuunnitelmassa, sillä tätä reittiä rakennettaessa tunnelin rakentaminen on huomattavasti monimutkaisempaa ja kalliimpaa kuin pohjoista reittiä pitkin, jolloin alustavan yleissuunnitelman tarkastelutaso ei ollut riittävä.



Kuva 7: Alustavan yleissuunnitelman linjavaihtoehdot Tikkurilassa (Vantaan kaupunki, 2017)

Alustavan yleissuunnitelman pohjalta yleissuunnitelmavaiheeseen tarkempaan suunnitteluun valittiin Tikkurilan aseman alittava vaihtoehto, eli VE1T2:a eteläisempi vaihtoehto. Yleissuunnitelmatasolla voitiin selvittää jo paljon tarkemmin tunnelin sijoittumista ympäröivään kaupunkirakenteeseen. Tässä vaiheessa tutkittiin useita vaihtoehtoja Tikkurilan aseman ali. Yksi vaihtoehdoista olisi kulkenut suoraan Dixi-kauppakeskuksen ali, tarjoten optimaalisen vaihtoyhteyden raitiovaunusta lähijunaan. Tämä olisi kuitenkin ollut teknisesti monimutkainen ja kallein vaihtoehto, sillä rakentaminen toisen rakennuksen perustusten alle on vaikeaa, ellei jopa mahdotonta. Yleissuunnitelman linjaukseksi valittiin lopulta vaihtoehto, joka kulkee hieman tätä pohjoisempana, mutta kuitenkin etelämpänä kuin alustavan yleissuunnitelman VE1T2-vaihtoehto.

Tässä vaihtoehdossa raitiotien on ennustettu saavuttavan vuoden 2030 tasolla 82 000 nousua vuorokaudessa ja 2050 tasolla 104 000. Tämä nousijamäärä on jo huomattavan lähellä alustavan yleissuunnitelman parasta vaihtoehtoa eli myös Tikkurilan sisäistä liikennettä

palvelevaa VE1-vaihtoehtoa. Yleissuunnitelmassa vertailua tehdään mahdollisimman samanlaisella reitillä kulkevaan runkolinjabussiin. Runkolinjabussi kuitenkin eroaa kaikkein eniten raitiotien linjauksesta nimenomaan Tikkurilassa, sillä runkolinjabussille ei rakennettaisi radan alitusta, vaan sen olisi tultava toimeen nykyisellä katuverkolla. Tällä laskukaavalla runkobussin nousujen määräksi saataisiin vuonna 2030 noin 35 000 kappaletta vuorokaudessa ja vuonna 2050 nousuja olisi 42 000 kappaletta vuorokaudessa. Runkobussin nousut olisivat siis alle puolet raitiotien nousuista, mikä kuvaa runkobussin alhaisempaa palvelutasoa raitiotiehen verrattuna.

### 4.3 Göteborg

Ruotsin länsirannikolla sijaitseva Göteborg on maan toiseksi suurin kaupunki. Kaupungin asukasluku on noin 600 000 ja kaupunkialueen 1,025 miljoonaa. Kaupungissa julkinen liikenne perustuu pääosin raitiovaunuihin. Raitiovaunut ovat olleet kaupungissa käytössä jo vuodesta 1879 hevosvetoisina ja vuodesta 1902 sähkövetoisina. (Rudolphi, M. 2012) Göteborgin raitiotiet selvisivät myös Ruotsin siirtymisestä oikeanpuoleiseen liikenteeseen vuonna 1967, jolloin esimerkiksi Tukholman raitioliikenne päättyi.

Göteborgin raitiotieverkosto on erittäin laaja, se koostuu 12 linjasta sekä yhdestä erikoislinjasta ja liikennöityä rataa on yhteensä 95 kilometriä. Göteborgin raitioverkon voi jakaa kahteen erilaiseen alueeseen: keskusta-alueeseen ja esikaupunkialueisiin. Keskustassa kaikki raitiovaunut kohtaavat ja jakavat katutilaa sekä muiden linjojen, että autoliikenteen kanssa. Keskustan ulkopuolella esikaupunkilinjoilla raitioliikenne on pääosin erotettu muusta liikenteestä ja sillä on osin jopa metromaisia ominaisuuksia. (Göteborgin kaupunki, 2014)

Göteborgin alueen kunnat, Länsi-Götanmaan lääni ja valtio ovat yhdessä tehneet sopimuksen nimeltä *Västsvenska paketet* joka sisältää useita infrastruktuuripanostuksia alueelle. Infrastruktuurihankkeita ovat esimerkiksi uusi lähijunatunneli keskustan läpi, uusi matkakeskus, uusia siltoja ja tunneleita Götajoen yli ja ali, siltayhteyksiä saaristoon sekä joukkoliikenteen kehittämisohjelma K2020. Paketin viimeistenkin hankkeiden tulisi olla valmiita vuonna 2028, hankkeiden kokonaissumma on noin 34 miljardia kruunua, josta puolet tulee valtiolta, noin 40 % vuonna 2013 käyttöön otetusta ruuhkamaksusta sekä loput Göteborgin kaupungilta sekä Länsi-Götanmaan ja Hallandin lääneiltä. Hankkeet vaikuttavat myös raitiovaunuliikenteen toimivuuteen kaupungissa. Hisingenin nostosilta, yksi uusista silloista Götajoen yli, korvaa nykyisin käytössä olevan vuonna 1937 valmistuneen Götajoen nostosillan, jolla kulkevat moottoriliikenteen lisäksi myös raitiovaunut. K2020-hankkeen tarkoituksena on kaksinkertaistaa joukkoliikenteen kulkutapaosuus vuoteen 2025 mennessä, jolloin osuuden tulisi olla 40 %.

Göteborgin raitioteiden keskinopeus on raitiotieverkoksi korkea. Keskusta-alueella keskinopeus oli vuonna 2013 17,6 kilometriä tunnissa ja keskusta-alueen ulkopuolella 26,0 km/h. (Trafikkontoret 2012) Keskinopeus kuitenkin vaihtelee suuresti linjojen välillä. Kaikkein suurin keskinopeus on keskustasta koilliseen lähtevällä Angeredin radalla, jossa keskinopeus nousee Angered-Gamlestadstorget-välillä 43 kilometriin tunnissa, sisältäen pysäkkiajan. (Göteborgin kaupunki, 2013) Angeredin radalla suuri keskinopeus on saatu eristämällä rata täysin muusta liikenteestä sekä pitkällä pysäkkivälillä. Radalla on pysäkkejä erittäin harvassa, linjaosuuden pituus Angered-Gamlestadstorget -välillä on 8,6 kilometriä mutta tällä osuudella on vain viisi pysäkkiä. Keskimääräinen pysäkkietäisyys on tästä syystä siis 2,4 kilometriä. Vertailuna Helsingin metron pysäkkietäisyys kantakaupungin (Kalasatama-Ruoholahti) ulkopuolella on itäpuolella noin 1,6 kilometriä ja Länsimetrossa 1,7 kilometriä.

Göteborgin järjestelmä on pikaraitiojärjestelmäksi poikkeuksellinen, sillä se nojaa erittäin vahvasti perinteiseen kaupunkiraitiotiehen, jota on laajennettu esikaupunkeihin suuremmilla ja raskaammilla linjoilla. Kalusto on pääosin vanhaa ja yleisestä pikaraitiotiejärjestelyistä poiketen ovet ovat vain yhdellä puolella vaunua. Tämän takia kaikkien linjojen päähän on rakennettava kääntösilmukat. Kääntösilmukoiden lisäksi keskilaiturin käyttö asemilla on ilman erityisjärjestelyitä mahdotonta.

Nykyisin Göteborgissa on linjaliikenteessä kaksi pitkää tunnelia: Angeredin radalla sijaitseva kahden kilometrin pituinen Hammarkullenin tunneli sekä kantakaupungissa sijaitseva Kringen-kehittämishjelmaan kuuluva kilometrin pituinen Chalmersin tunneli. Suunnitteilla on myös uusi yhteys, Lindholmsförbindelse, joka olisi läntisempi Götajoen ylitys joko sillalla tai tunnelissa. Tunneli on kuitenkin paljon todennäköisempi, sillä suunnitellussa paikassa reitti ylittäisi Götajoen laivaväylän, joten alituskorkeus kasvaa merkittävästi siltavaihtoehdossa, mikäli siltaa ei rakennettaisi nostosiltana. (Sahlberg, A., 2016)

Göteborgin raitioteilla on käytössä kulunvalvontajärjestelmä. Kulunvalvonnan toiminnasta ja käytöstä säädetään Göteborgin kaupungin liikennekonttorin sekä raitioteiden operaattorin Göteborgs Spårvägar AB:n käsikirjassa *Trafiksäkerhetsinstruktion (TRI)*. Göteborgin raitioteilla on eroteltu operointi omassa eristetyssä käytävästä sekä katuajosta. Raitioteilla on käytössä hyvin paljon omia liikennemerkkejä, jotka ovat käytössä raitiotien kulkiessa omalla maastokäytävällä.

Ruotsissa metro- ja raitiotieliikenteen eli kaupunkiraideliikenteen operointia säädellään valtioneuvoston kaupunkiraideliikenteen turvallisuutta käsittelevällä asetuksella SFS 1990:1165. Pykälät 9 § - 15 § käsittelevät raitieliikenteen liikennesääntöjä, muiden muassa etuajo-oikeus ja vastuukysymyksissä. Raitiotiekäytössä on liikennemerkkejä, joilla voidaan kumota näiden pykälien määräyksiä ja oikeuksia. Kuvassa 8 on liikennemerkki, jonka vaikutusalueella raitiotiellä on ehdoton etuajo-oikeus, sillä rata-alueen tulee olla täysin eriytetty muusta liikenteestä.



Kuva 8: Tasoristeyksettömän rata-alueen alkamismerkki (vasen) ja päättymismerkki (oikea)

#### 4.3.1 Hammarkullenin tunneli

Angeredin radalla sijaitsee 2 034 metriä pitkä Hammarkullenin tunneli. Tunneli on merkittävä referenssikohde, sillä kyseessä on toistaiseksi Pohjoismaiden ainoa kohde, jossa on raitiotiepysäkki tunnelissa. Angeredin rata eroaa muusta Göteborgin raitiotiejärjestelmästä myös siten, että siinä on Gamlestadenin aseman jälkeen pelkkiä keskilaitureita. Tämä aiheuttaa ongelman operoinnissa, sillä kalustossa on ovet vain ajoneuvon oikealla



puolella. Tästä johtuen Angeredin radalla on Hjällbon asemasta eteenpäin vasemmanpuoleinen liikenne. Liikenne muuttuu Hjällbon aseman eteläpuolella oikeanpuoleiseksi tasoristeyksessä.

Angeredin rata ja Hammarkullenin tunneli rakennettiin 1970-luvulla osana Göteborgin varautumista metron rakentamiseen. Koska päätöstä metrosta ei koskaan tehty, liikennöidään linjaa edelleen raitiotienä pienellä kalustolla. Hammarkullenin tunneliin rakennettiin kuitenkin Hammarkullenin asema, joka on Ruotsin ainoa Tukholman ulkopuolinen metroasema. Asema on suunniteltu metroa varten, mutta sen laitureita ei ole rakennettu metron lopulliselle korkeudelle vaan matalampana sopimaan raitioiteille. Laitureiden päässä on kuitenkin nähtävissä varautuminen täyteen metroluikenteeseen, sillä esimerkiksi laitureiden päissä olevat poistumisovet ovat metrolaiturin korkeudella ja niihin johtavat pitkät luiskat.

Hammarkullenin tunnelissa kulkevat linjat 4, 8 ja 9, ja kaikilla on kahdeksan minuutin vuoroväli. Yhteinen vuoroväli on siis siten 2 minuuttia ja 40 sekuntia eli 160 sekuntia, vuorotiheyden ollessa 22,5 vuoroa tunnissa.

Hammarkullenin tunneli koostuu kumpaankin suuntaan kolmesta kulunvalvotusta raideosuudesta. Raideosuus tarkoittaa tässä kontekstissa kahden kulunvalvontapisteen välistä rataosuutta, jossa jokaiselle osuudelle voi turvallisesti päästää vain yhden kulkuneuvon kerrallaan. Osuudet ovat tunnelin suilta asemalle johtavat osuudet sekä aseman osuus. Näin ollen tunnelissa voi saman aikaisesti olla kaksi raitiovaunua suuntaansa, kun keskimäinen raideosuus on välissä turvavyöhykkeenä.

### 4.3.2 Chalmersin tunneli

Toinen linjaliikenteessä käytössä oleva tunneli on vuonna 2002 avattu Chalmersin tunneli, joka on osa kaupungin kehämäistä raitiotien kehittämisohjelmaa nimeltä *Kollektivtrafikringen* (Joukkoliikennekehä) eli Kringeniä. Kringeniin kuuluu useita eri hankkeita, joiden tarkoitus on kehittää ja kasvattaa keskusta-alueen raitioteiden nopeutta, luotettavuutta ja kapasiteettia.

Chalmersin tunneli kulkee 1 050 metrin matkan Johannebergin Södra vägeniltä Chalmersin teknilliselle korkeakoululle alittaen suuren osan Johannebergin kaupunginosaa. Tunnelin eri päät ovat merkittävästi eri korkeudella, Chalmersin pään ollessa ylempänä. Tunnelin koko matkalla on noin 2,4 prosentin pituuskaltevuus.

Kulunvalvonnallisesti eri kulkusuuntien tunnelit ovat erilaisia. Ylämäkeen eli Johannebergistä Chalmersille tunnelissa on kaksi raideosuutta, kun alamäkeen on vain yksi raideosuus. Tämä mahdollistaa sen, että tunnelissa voi olla kolme raitiovaunua yhtäaikaista.



Kuva 9: Chalmersin tunnelin läntinen suuaukko

Kuvassa 9 näkyy kävely kielletty ja ajoneuvolla ajo kielletty –merkkien alla sinipohjainen AF-merkki. Merkki on osa kulunvalvontajärjestelmää, kertoen että huoltoajoneuvojen ja muiden ilman kulunvalvontalaitteita kulkevien ajoneuvojen tulee pysähtyä kyseiselle pisteelle. Kyltin saa ohittaa ja matkaa jatkaa vasta kun kuljettaja on saanut erillisen luvan liikenteenhallintakeskuksesta.

#### 4.4 Bergen

Bergenin raitiotie (*Bergens bybane*) on pikaraitiotiejärjestelmä, joka liikennöi Bergenin kaupungissa Länsi-Norjassa Atlantin rannalla. Bergen on Norjan toiseksi suurin kaupunki, jossa asuu noin 280 000 asukasta ja koko kaupunkialueella noin 420 000 asukasta. Pikaraitiotie on kaupungin toinen raitiotiejärjestelmä. Bergenissä toimii kaupunkiraitiotie (*Bergens trikken*) vuosien 1897 ja 1965 välillä. Kaupunkiraitiotie lakkautettiin monen muun kaupungin tapaan 1960-luvulla, kun raitiovaunut nähtiin vanhanaikaisina ja joustamattomina liikennemuotoina.

Raitiotien rakentaminen on edennyt vaiheittain, diplomityötä kirjoitettaessa kesällä 2019 on käynnissä neljäs rakennusvaihe. Ensimmäinen rakennusvaihe alkoi vuonna 2008 ja valmistui kesäkuussa 2010. Ensimmäisen vaiheen pituus oli 9,8 kilometriä. Toinen vaihe oli 3,4 kilometriä ja valmistui vuonna 2013. Kolmas vaihe oli ensimmäisen linjan viimeinen eteläinen laajennus. Tässä vaiheessa linja saavutti Bergen-Fleslandin lentoaseman. Kolmas vaihe valmistui osissa, ensimmäiset viisi asemaa valmistuivat lokakuussa 2016 ja loput kaksi, sisältäen yhteyden lentoasemalle, valmistuivat huhtikuussa 2017. Kolmannen vaiheen pituus oli 7,2 kilometriä. Bergen-Fleslandin lentoasemalle valmistunut pikaraitiotieasema on rakennettu katetuksi asemaksi terminaalien eteen niin, että rata saapuu alueelle tunnelissa, mutta itse asema on ulkoilmassa. Neljäs rakennusvaihe luo uuden lin-

jan Bergenin pikaraitiotielle. Neljännen rakennusvaiheen aikana rakennetaan myös ensimmäinen maanalainen kallioasema, Haukelands sykehus. Asema tulee sijoittumaan Haukelandin yliopistosairaalan viereen.



**Kuva 10: Bergenin raitiotien linjakartta (Bybanen, 2019)**

Bergenin kaupungin ja sitä ympäröivän Hordalandin alueen maastonmuodot ovat infrastruktuurin, etenkin raiteille perustuvan, kannalta erittäin vaikeat. Alue sijaitsee keskellä Skandien vuoristoa ja alueen maasto on kallioista ja rikkonaista. Bergenin kaupungin suunnittelustrategiana on ollut tuoda pikaraitiotie näkyväksi elementiksi osaksi kaupunkia. Tämän vuoksi tunneleita on pyritty mahdollisuuksien mukaan välttämään. Toisin sanoen jokaisen tunnelin rakentamisen taustalla oli aina tekninen välttämättömyys, ei poliittinen paine. (Hardlevær, R. 2019, sähköpostiviesti) Siitä huolimatta ensimmäiselle linjalle on jouduttu rakentamaan 12 tunnelia. Ensimmäisen linjan päätepysäkki sijaitsee myös osin maan alla.



**Kuva 11: Lufthavnin asema Bergenin raitiotiellä**

Haukelands Sykehus on rakenteilla oleva tunnelissa sijaitseva asema Bergenin raitiotien toisella linjalla. Siitä tulee ensimmäinen tunneliin rakennettava asema Bergenin raitiotiellä. Asema tulee sijaitsemaan Haukelandin yliopistosairaalan välittömässä läheisyydessä kolme kilometriä linjojen alkupisteestä Byparkenin pysäkiltä.

Haukelandin tunnelissa kulunvalvonta on järjestetty varsin kevyesti ja konsulttiselvityksen lähtökohtana on käytetty Göteborgin Hammarkullenin tunnelin kulunvalvontajärjestelmää. Esiselvityksessä on tultu tulokseen, että Hammarkullenin tunnelin kulunvalvonnan taso on tosielämässä testattu ja todettu riittävän toimivaksi tälle tunneliratkaisulle. Haukelandin tunneli on kuitenkin 600 metriä lyhyempi kuin Hammarkullenin tunneli ja alkuvaiheessa sen läpi pitäisi kulkea vain yksi linja, mitkä molemmat seikat helpottavat kulunvalvonnan toteuttamista. Tavoitenopeus tunnelissa on 70 kilometriä tunnissa, mikä on 20 kilometriä tunnissa enemmän kuin Göteborgissa. (Bergensprogrammet 2017) Kulunvalvonnan tavoitteena Haukelandin tunnelissa on, että raitiovaunu ei koskaan joutuisi pysähtymään opastimella aikataulunmukaisessa liikenteessä.

Kulunvalvonnan näkökulmasta Haukelandin tunneli koostuu kolmesta raideosuudesta, tunnelin suilta asemalaitureille johtavista osuuksista sekä asemalaiturin osuudesta. Kulunvalvonta päättyy noin 50 metriä tunnelin ulkopuolella keskustan päässä eli Møllendalin aseman läheisyydessä ja noin 100 metriä tunnelin ulkopuolella toisessa päässä Kronstadin yhdysraiteen läheisyydessä.



## 5 Suunnitteluperusteet

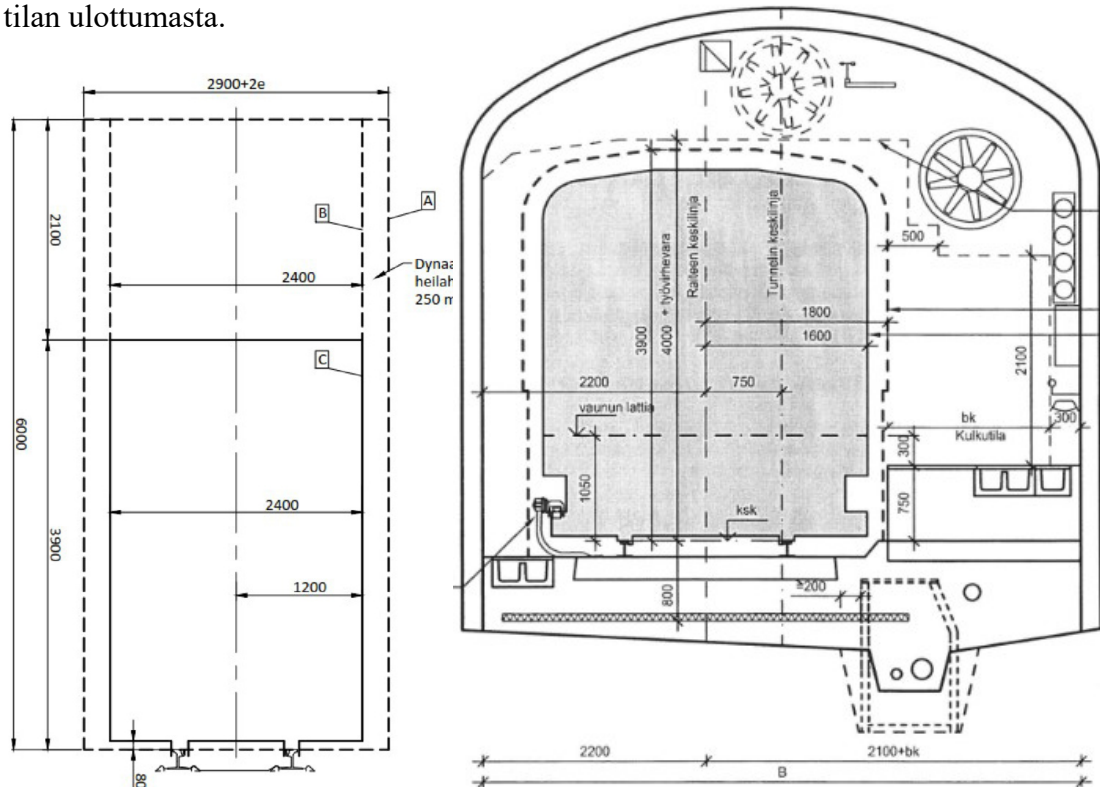
Tässä osiossa käsitellään pikaraitotien suunnitteluun vaikuttavia teknisiä järjestelyitä, jotka poikkeavat nykyisistä raitiotie-, metro- ja rautatiejärjestelmistä. Näiden analyysien ei ole tarkoitus antaa lopullista suositusta mistään tekniikkaan liittyvästä kynnyskysymyksestä, vaan valottaa mitä asioita on otettava huomioon jatkosuunnittelussa ja miten erilaiset valinnat liittyvät toisiinsa sekä mahdollisesti mikä taho on vastuussa minkäkin asian tiedon hankkimisesta.

### 5.1 Kalusto

Pikaraitioteillä käytettävä kalusto vaikuttaa myös tunnelien rakentamiseen. Raitiovaunun koko vaikuttaa kaivettavan tunnelin poikkileikkausprofiiliin ja pelastusvaatimuksiin, sillä pelastustiet on mitoittettava matkustajamäärän mukaan. Matkustajamäärä ja sitä kautta kapasiteetti lasketaan kaluston koon mukaan, joten valittava kalusto vaikuttaa suureen määrään muita suunnitteluratkaisuita. Sen vuoksi oikean kaluston valinta mahdollisimman aikaisessa vaiheessa on tärkeää.

#### 5.1.1 Kaluston leveys

Raitiovaunukaluston leveys itsessään ei ole mitoittava tekijä, sillä infraa ei voi mitoittaa suoraan kaluston levyisenä vaan ympärille on jätettävä turvavaraa esimerkiksi dynaamisille heilahteluille ja muille epävarmuustekijöille. Helsingissä leveyssuunnassa on käytetty 250 millimetrin levennystä molemmiin puolin vaunua. Näin ollen 2 400 millimetriä leveillä vaunuilla muodostuu 2 900 millimetriä leveä aukean tilan ulottuma, joka on siis raitiovaunulle varattu tila, johon ei missään olosuhteissa saa rakentaa mitään. Aukean tilan ulottuman (ATU) ja vaunun leveyden erotus on aina sama, joten leveämmässä kalustossa kaluston poikkileikkauspinta-ala muodostaa suuremman osuuden vaunun aukean tilan ulottumasta.



Kuva 12: Kantaverkon raitiotien aukean tilan ulottuman periaatekuva HKL:n suunnitteluohjeen mukaan (vasemmalla) sekä metron tunnelin poikkileikkaus HKL:n metrosuunnittelun käsikirjan mukaan. (oikealla) Poikkileikkaukset eivät ole samassa mittakaavassa

Euroopassa ajoneuvoliikenteen seassa kulkevan kulkuvälineen suurin sallittu leveys on 2 650 millimetriä. (BOStrab, 1987) Maksimoidakseen kapasiteetin useassa pikaraitiotiejärjestelmässä käytetään näin leveitä vaunuja, esimerkiksi rakenteilla olevan Tampereen raitiotien kaluston leveys tulee olemaan 2 650 millimetriä. Kuitenkin leveämmän kaluston integroiminen liikenneverkkoon tuo omat haasteensa. Jälkikäteen leventäminen voi puolestaan olla hyvin vaikeaa ja kallista, erityisesti tunneleissa

Kaluston leveydessä on syytä miettiä kahta eri vaihtoehtoa, kapeaa eli 2 400 millimetriä leveää kalustoa sekä leveää eli 2 650 millimetriä leveää. Vaikka raitiovaunukalustoa löytyy maailmalta monessa eri koossa, ei ole oleellista Helsingin pikaraitiotien tapauksessa pohtia muita vaihtoehtoja, sillä usean eri kokoisen ja mallisen raitiovaunukaluston ylläpito ei ole taloudellisesti eikä liikenteellisestikään järkevää. Valitut raitiovaunujen leveydet ovat siis Helsinkiin tilattu pikaraitiovaunukalusto sekä BOStrab:in mahdollistama maksimilevyinen raitiovaunukalusto.

Helsingin raitioteiden kalusto on nykyisin yksisuuntaista, mallista riippuen joko 2 300 millimetriä leveää ja 26,5 metriä pitkää (matalalattianivelraitiovaunut MLNRV1 ja MLNRV2) tai 2 400 millimetriä leveää ja 27,6 metriä pitkää (Artic-raitiovaunu MLNRV3). Näiden lisäksi tilauksessa on myös kaksisuuntaista 2 400 millimetriä leveää ja alkuvaiheessa 34,5 metriä pitkää Artic XL –vaunua Raide-Jokeria varten. Niin kutsutun kaksisuuntavaunun etuna on, että linjan päähän ei tarvitse rakentaa kääntösilmukkaa ja linjalle voidaan rakentaa myös keskilaitureita ilman erikoisjärjestelyitä. Raide-Jokerille tosin ei ole tulossa linjaosuuksille keskilaitureita, ainoa keskilaituri tullaan rakentamaan Keilaniemen päätepysäkille.

Helsingissä raitiotien kantaverkolla maksimileveys on nykyisin 2 400 millimetriä, ja tämä on tarkastettu Artic XL-kokoisella vaunulla vuonna 2017 Raide-Jokerin kalustopäätöstä tehdessä. Raide-Jokerin hankkeessa tehtiin keväällä 2017 päätös, että linjalla kaluston leveydeksi valittiin kapeampi aukean tilan ulottuma, mutta samaan aikaan jätettiin varaus leveämmälle vaunulle mm. Otaniemessä. Samoin Kruunusilloilla varaudutaan vielä leveämpään kalustoon Korkeasaaren ja Kruunuvuoren välisellä sillalla.

Tulevan pikaraitiotien kaluston leveyttä valitessa tulee selvittää, onko lisäkapasiteetin tuoma hyöty riittävän suuri verrattuna kuluihin, jotka suurempi kaluston leveys aiheuttaa. Toisaalta mikäli tunneleihin valitaan pienempi 2 400 millimetrin leveys on tämä päätös sitten lopullinen, sillä tunnelien pienemmän poikkileikkauksen muuttaminen leveämmäksi jälkikäteen on huomattavasti kalliimpaa ja aiheuttaa suuria ja pitkäaikaisia haittoja liikennöinnille.

Taulukosta 4 voi todeta, että kaluston leveyden osalta eri vaihtoehtojen erot liittyvät lähinnä rakentamisen investointikustannuksiin. Kapeaa kalustoa varten rakennettaessa rahaa säästyy pienentämällä tunneliprofiilia maan alla sekä kaventamalla maastokäytävää maan päällä. Aiemmin mainitun erittäin karkean arvion mukaan tunnelointi kapeaan vau-nuleveyteen laskee kustannuksia noin 100 000 euroa tunnelikilometriä kohden. Raide-Jokeria suunnitellessa keväällä 2017 tehdyn päätöksen mukaan ei ollut taloudellisesti tai maankäytöllisesti järkevää jatkaa suunnittelua 2 650 millimetriä leveän kaluston kanssa. Tästä päätöksestä on hyvä pitää edelleen kiinni, jotta eri kalustovaihtoehtojen välillä säilyy edes yhden suuntainen yhteensopivuus. Kaikkea maanpäälliseen liikenteeseen tarkoitettua kalustoa ei voida käyttää tunneleissa puuttuvan kulunvalvonnan eikä puutteellisen paloturvallisuuden vuoksi. Toisin päin yhteensopivuutta ei kuitenkaan kannata sulkea

pois, sama mahdollisuus on jätetty myös Raide-Jokerin ja kantaverkon välille: Raide-Jokerin kalustolla voi kulkea kantaverkolla mutta kantaverkon kalustolla on mahdotonta operoida Raide-Jokerin verkolla, sillä yksisuuntavaunu ei pysty kääntymään linjan päässä ilman kääntösilmuukkaa, jollaisia ei olla rakentamassa linjalle.

Taulukko 4: Kaluston leveyden hyödyt ja haitat

	Kapea kalusto 2 400 mm	Leveä kalusto 2 650 mm
<b>Hyödyt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mahdollista ajaa myöhemmin pitkänä kalustona yhdistämällä kaksi yksikköä yhteen</li> <li>• Pienemmät tunnelointikustannukset (noin 100 000 €/km)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suurin mahdollinen kapasiteetti ja matkustusmukavuus</li> </ul>
<b>Haitat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ei täyttä hyötyä mahdollisista tunneleista</li> <li>• Mikäli louhitaan kapeampana, on se pysyvä ratkaisu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nykyiselle rataverkolle vaaditaan kalliita uusia ratkaisuita</li> <li>• Ei välttämättä mahdollisuutta levittää ATU:a olemassa olevassa rakenteessa.</li> <li>• Nykyiset varikot on suunniteltu vain kapealle kalustolle</li> </ul>

### 5.1.2 Kaluston pituus

Kaluston pituus vaikuttaa kapasiteetin osalta eniten istumapaikkojen määrään, sillä leveyssuunnassa penkkejä on lähes yhtä paljon riippumatta vaunumallin leveydestä. Kaluston pituuden vaikutus kustannuksiin tulee pääosin pysäkkiratkaisuista. Pysäkit on rakennettu kantaverkolla joko 30 metriä pitkiksi yhden ajoneuvon pysäkeiksi tai 61 metriä pitkiksi kahden ajoneuvon pysäkeiksi. Raide-Jokerissa ja muiden pikaraitioteiden maanpäällisille osuuksille puolestaan rakennetaan lähtökohtaisesti 45 metriä pitkät laiturit pysäkeille.

Tarvittavaan laituripituuden mitoittamiseen vaikuttaa valittu kalusto sekä liikenteen hallinta. Tästä muodostuu myös yksi tunneliasemien ja maanpäällisten pysäkkien eroista. Maan päällä voidaan varautua siihen, että laiturilla on samanaikaisesti kaksi raitiovaunua, tämän vuoksi kantaverkolla on sekä 30-metrisiä että 61-metrisiä laitureita. Näistä jälkimmäiselle mahtuu kaksi kaupunkiraitiovaunua kerralla. Tunneliosuuksilla puolestaan ei kulunvalvonnallisista syistä ole mahdollista saada kahta eri raitiovaunua peräkkäin samalle laiturille, joten laiturin voi mitoittaa suoraan maksimaalisen yhden raitiovaunun pituuteen eli 75 metriin. Taulukossa 5 on käsitelty eri kalustopituuksien hyötyjä ja haittoja. Osa muuttujista on samoja kuin leveyden suhteen, mutta pitkän kaluston osalta haittapuolet ovat helpommin ja halvemmalla hallittavissa kuin leveän kaluston osalta. Näin voidaan tehdä oletus, että pitkään kalustoon varautuminen on helpompaa ja halvempaa kuin leveään kalustoon, ja että kapasiteetin nosto kannattaa tehdä ensisijaisesti kalustoa pidentämällä kuin leventämällä.

Taulukko 5: Kaluston pituuden hyödyt ja haitat

	Lyhyt kalusto ≤ 45 m	Pitkä kalusto > 45 m
<b>Hyödyt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mahdollista ajaa myöhemmin pitkänä kalustona yhdistämällä kaksi yksikköä yhteen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Täysi hyöty tunnelirakenteista heti</li> <li>Mahdollisuus kasvattaa kapasiteettia</li> </ul>
<b>Haitat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kapasiteetin rajallisuus</li> <li>Saadaanko tarvittava hyöty tunneli-investoinnista jos ei hyödynnetä koko pituutta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vaatii maanalaisen osuuden ulkopuolella muutoksia niin pysäkkeihin kuin infraan linjaosuuksilla, jotta pidemmät vaunut mahtuvat katuympäristöön</li> <li>Ei suoraa yhteensopivuutta muille linjoille</li> </ul>

### 5.1.3 Matkustajakapasiteetti

Taulukossa 6 on esitetty esimerkkejä eri kalustokoon vaikutuksista yksittäisen yksikön matkustajakapasiteettiin. Taulukossa olevat luvut ovat käytettävissä vain vertailuna toisiinsa, sillä kaluston lopulliset sisustusratkaisut vaikuttavat myös tarkkaan kapasiteettiin. Kaluston oletuskapasiteetti on laskettu Škodan esitteestä, joka ei ota huomioon Helsingissä käytettävää 1 000 millimetrin raideleveyttä. Kapeampi raideleveys pienentää hie-man kapasiteettia, sillä käytävän leveys kapenee telien kohdalta, pienentäen seisomapinta-alaa vaunussa. Kapean raitiovaunun kapasiteetti on noin 85-90 % leveän vaunun vastaavasta. Helsingin raideleveydellä matalalattiaisena seisomapinta-ala kasvaakin vain oviaukkojen kohdalla sekä invaosastossa. Artic XL-kaluston pohjapiirroksista laske-malla oviaukkojen kohdalla pinta-ala kasvaa noin 0,44 neliometriä ja taittopenkein va-rustetussa monitoimiosastossa 1,7 neliometriä. Vaunun päissä olevissa kapeissa eteisissä pinta-ala kasvaa vain 0,2 neliometrillä. Ensimmäisen vaiheen Artic XL-kalustossa on kaksi päätyeteistä, kaksi tavallista eteistä ja yksi invaosasto. Yhteensä seisomapinta-ala kasvaisi leveämmällä vaunulla vain 2,34 neliometriä, eli neljän matkustajan neliömitoi-tuksella seisomakapasiteetti kasvaisi noin yhdeksän matkustajan verran. Istuinpaikkojen määrä on kapeassa ja leveässä kalustossa usein identtisiä, sillä 2+2 -istuinjärjestys mahtuu hyvin molempiin leveyksiin. Isompi ero eri pituuksien ja leveyksien yhdistelmässä tulee siten pituudesta, ei leveydestä. Suurempi leveys nostaisikin lähinnä matkustusmuka-vuutta kapasiteetin sijaan, kun istuimia voisi leventää. Kaluston leventäminen ei siis tuo merkittävästi lisää kapasiteettia, eikä se sen vuoksi oikeuta varautumista leveämpään ATU:un ja sen tuomiin kustannusnousuihin. Ei ole syytä lisätä kompleksisuutta kalusto-jen käytössä, kapeamman kaluston kanssa on mahdollista käyttää nykyistä infraa edes yhteen suuntaan yhteisesti.

Taulukko 6: Kaluston laskennallisia kapasiteetteja, suluissa istuma- ja seisomapaikat eroteltuna (Škoda Transtech)

	2 400 mm	2 650 mm
37,1 m	228 (72+156)	261 (72+189)
43,9 m	272 (88+184)	311 (88+223)
53,5 m	334 (128+206)	374 (136+238)
2x 29,2 m	330 (128+202)	380 (128+252)
2x 37,1 m	456 (144+312)	522 (144+378)



Suomessa on käytössä kaupunkiliikenteessä paljon erilaista kalustoa. Matkustajaväljyyden mitoitus on myös vaihteleva, seisomakapasiteetin vaihdellessa kolmen ja viiden matkustajan välillä neliötä kohden. Taulukossa 7 on vertailtu Suomessa käytettävien eri kalustojen mittoja ja kapasiteetteja. Etenkin yhden Sm5-yksikön kapasiteetti on erittäin korkea. Sen lisäksi että vaunuun on onnistuttu saamaan 2+3 rinnakkain oleva istuinjärjestys, on yksikössä myös erittäin paljon seisomatilaa. Sen sijaan metrossa seisomakapasiteetti on junan pituuteen nähden varsin heikko. M100- ja M200-kaluston ero verrattuna M300 kalustoon johtuu siitä, että yksi M300-yksikkö koostuu valmiiksi neljästä vaunusta, kun taas M100- ja M200 –yksiköt koostuvat kahdesta vaunusta ja näin junaa varten tarvitaan kaksi yksikköä. Matkustajakapasiteetti kaikissa metrokalustoissa on näin lähes identtinen.

Taulukko 7: Suomessa käytössä olevan raidekaluston kapasiteetteja

	Kapasiteetti	Pituus	Leveys	Istumajärjestys
<b>Artic</b>	151 (84+67)	27 600 mm	2 400 mm	2+2
<b>Artic XL</b>	256 (76+180)	34 500 mm	2 420 mm	2+2
<b>Artic X34</b>	264 (64+200)	37 300 mm	2 650 mm	2+2
<b>Sm5</b>	555 (232+323)	75 200 mm	3 200 mm	2+3
<b>M100</b>	287 (130+157)	44 200 mm	3 200 mm	1 m+1 m
<b>M200</b>	287 (124+163)	44 300 mm	3 200 mm	1 m+1 m
<b>M300</b>	576 (228+348)	88 220 mm	3 200 mm	1 m+1 m

Kapasiteettiin vaikuttaa kaluston koon lisäksi vuoroväli. Linjan tuntikapasiteetti saadaan, kun kerrotaan yhden kalustoyksikön kapasiteetti tunnissa olevien vuorojen määrällä. Kappaleessa 2.6 esitellyissä skenaarioissa suurin kuormitus minkään huipputunnin aikana on noin 6 500 matkustajaa suuntaan kahden linjan jakamalla osuudella sekä 3 200 yhden linjan osuudella. Kaluston absoluuttista kapasiteettia voidaan käyttää vain paloturvallisuuden mitoitukseen. Tuntikapasiteetin mitoitukseen HSL käyttää hieman pienempiä arvoja, joilla saadaan kohotettua matkustajamukavuutta sekä lisättyä mahdollisuutta varautua äkillisiin kysyntäpiikkeihin, kun kapasiteetti ei ole aivan täydessä käytössä. (Helsingin seudun liikenne, 2016). HSL:n suunnitteluohjeiden mukaan tehty matkustajakapasiteetilaskuri on esitetty taulukossa 8. HSL:n käyttämä laskennallinen kapasiteetti on noin 80 % kaluston teknisestä kapasiteetista. Taulukkoon on laskettu myös teknisesti mahdottomia kombinaatioita. Mahdottomat kombinaatiot on merkitty punaisella värillä. Kursiivilla olevat vaihtoehdot on laskettu myöhemmin taulukkoa tehdessä HSL:n ohjeiden mukaan mahdollisista kalustoista. Mahdottomaksi jonkin vuoroväli-kalustokombinaation tekee usein kulunvalvonta, esimerkiksi junaliikenteessä ei ole mahdollista laskea vuoroväliä alle neljän minuutin. Metroliikenteessä vastaava raja on puolestaan 2,5 minuuttia. Maanpäällisillä pikaraitiotielinjoilla ei periaatteessa ole rajoitusta kuinka tiheällä vuorovälillä linjoja voidaan operoida, mutta maan alla joudutaan todennäköisesti käyttämään hyvin samanlaista kulunvalvontaa kuin metrossa, joka rajaisi siis vuorovälin vähintään 2,5 minuuttiin. Tämän takia siis yhden linjan ehdoton raja-arvo olisi viisi minuuttia. Viiden minuutin vuoroväli on realismia, sillä linjat kulkevat tunnelin ulkopuolella katuverkoissa, joten tämän alle menevä vuoroväli olisi vaikea hallita luotettavasti. Tämä johtaa siihen, että edes 45-metrinen pikaraitikka ei ole riittävä esitettyyn kuormitukseen, vaan liikenteeseen on otettava 60-metrinen kalusto. 60-metrisen leveän kaluston viiden minuutin vuorovälin kapasiteetti on 3 600 matkustajaa tunnissa, ja vaikka käytettäisiin kapeam-

paa kalustoa, jonka kapasiteetti on noin 90 % leveästä kalustosta, tulee yhden haaran kokonaiskapasiteetiksi noin 3 200 matkustajaa tunnissa. Tämä on tässä vaiheessa kuitenkin riittävä tälle tarkkuusasteelle.

Tällä tarkasteluasteella voidaan suositella, että tunneliosuuksilla varauduttaisiin jo rakentamisvaiheessa 75 metriä pitkään kalustoon ja maan päällä 60 metrin kalustoon, kuitenkin niin, ettei suljeta pois myöhemmin tehtäviä pidennyksiä. Varautuminen pidempään kalustoon on kallista ja monimutkaista. Kuitenkin jo tällä selvitystasolla on huomattavissa, että kaluston kapasiteetin riittävyys tulee olemaan ongelma pitkällä aikavälillä, riippuen tietenkin muista toteutettavista liikennehankkeista ja maankäytön tehostamisesta. Laskelmat on tehty 2030-luvun maankäytöllä, sillä olettamuksella, että Pisararata on rakennettu.

Pisararata on mallinnettu mukaan, koska mallinnukset on tehty nykyisin voimassaolevan MAL-sopimuksen mukaan, ja siinä Pisararata on mukana lähiaikoina toteutuissa hankkeissa. Kuitenkin Pisararadan rakentaminen on erittäin epävarmaa ainakin tätä diplomityötä kirjoitettaessa. On oletettavissa, että merkittävä osa Kalasataman ja Pasilan välisestä liikenteestä on Itä-Helsingin ja Pasilan välistä liikennettä, sillä nämä yhteydet ovat nykyisin melko heikot ja kuormituskuvaajat muuttuvat radikaalisti niin metroradan kuin Pasilan aseman jälkeen. Myös Pisararata tarjoaa vaihtoyhteyden metrosta Pasilaan Hakaniemessä, vieläpä erittäin korkean kapasiteetin järjestelyyn. Mikäli Pisararataa ei rakenneta, on olemassa mahdollisuus, että suurempi osuus Itä-Helsingin ja Pasilan välisestä liikenteestä käyttäisi tätä raitiotieyhteyttä Pisararadan sijaan. Tällöin kuormitus voi kasvaa yli 60 metriä pitkän raitiotien viiden minuutin kapasiteetin.

Taulukko 8: HSL:n ohjeiden mukaan rakennettu matkustajakapasiteetilaskurista (HSL 2016 & KYMP 2019) Kursivoidut rivit on toimialan tekemiä arvioita, punaiset ovat kulunvalvonnallisista syistä mahdollottomia

	Vuoroväli	7,5 min	6 min	5 min	3 min	2,5 min	2 min
Kalustotyyppi	vuoroja tunnissa	8	10	12	20	24	30
	yksikön kapasiteetti						
2-aks A1	48	384	480	576	960	1152	1440
2-aks A2	57	456	570	684	1140	1368	1710
Telibussi	66	528	660	792	1320	1584	1980
Nivelbussi	89	712	890	1068	1780	2136	2670
<i>Tuplanivelbussi</i>	110	880	1100	1320	2200	2640	3300
Mini B	16	128	160	192	320	384	480
Korkea nivelvaunu	92	736	920	1104	1840	2208	2760
Variobahn	98	784	980	1176	1960	2352	2940
Välisavaunu	121	968	1210	1452	2420	2904	3630
Artic 27 m	128	1024	1280	1536	2560	3072	3840
<i>Pikaratikka 35 m</i>	<i>150</i>	<i>1200</i>	<i>1500</i>	<i>1800</i>	<i>3000</i>	<i>3600</i>	<i>4500</i>
<i>Pikaratikka 45 m</i>	<i>210</i>	<i>1680</i>	<i>2100</i>	<i>2520</i>	<i>4200</i>	<i>5040</i>	<i>6300</i>
<i>2x30 m pikaratikka</i>	<i>300</i>	<i>2400</i>	<i>3000</i>	<i>3600</i>	<i>6000</i>	<i>7200</i>	<i>9000</i>
Metrojuna (4 vaunua)	602	4816	6020	7224	12040	14448	18060
Sm5 (Flirt)	336	2688	3360	4032	6720	8064	10080
2xSm5	672	5376	6720	8064	13440	16128	20160
3xSm5	1008	8064	10080	12096	20160	24192	30240

Kapasiteetin nostoon ilman kaluston pidennystä voi varautua muuttamalla myös kaluston sisustusta. Vähentämällä istuinpaikkoja saadaan lisää seisomapinta-alaa. Toisaalta korkealattiaiseen kalustoon verrattuna istumapaikkoja ei voi loputtomasti vähentää, sillä telit ja pyörät vievät kuitenkin tilaa sisältä ja istumapaikat ovat näillä kohdin perusteltuja. Toisen vaihtoehto on myös pienentää vuoroväliä. Viiden minuutin vuoroväliä voi vielä pienentää, mutta se vaatii investointeja kulunvalvonnan tehostamiseen. Kaluston kapasiteetti yli 45 metrisellä kalustolla on näissä vaihtoehtoisissa laskettu kahdella yhteen liitettyllä lyhyellä yksiköllä. Mikäli kuormitus on rajoilla, voitaisiin kalustoa hankkia myös suoraan yhtenä kappaleena, jolloin ohjaamojen ja liittimien viemä hukkatila saataisiin matkustajakäyttöön. Artic-vaunua rakennetaan esimerkiksi Mannheimin kaupunkiin Saksassa 60-metrinenä yksikkönä.

## 5.2 Raitiotien geometria

Helsingin raitioteiden raideleveys on 1 000 millimetriä. Tämä periytyy jo hevosvetoisista raitiovaunuista, eikä sitä ole sen jälkeen muutettu. Koska Raide-Jokerin kohdalla on tehty päätös, että raideleveys pysyy samana myös sillä linjalla, ei ole enää oleellista selvittää raideleveyttä uudestaan vaan rakentaa koko pikaraitiotieverkko samaan 1 000 millimetrin leveyteen yhtenäisen verkoston luomiseksi ja yhteensopivuuden takaamiseksi. (WSP, 2014) Suomessa rautateiden raideleveys on 1 524 millimetriä ja metrossa Metrosuunnittelun käsikirjan mukaan 1 521,5 millimetriä (HKL, 2008). Muutaman millimetrin erot eivät vielä aiheuta ongelmia rautateillä, sillä asennustoleransseista ja mutkista johtuen raideleveys vaihtelee läpi linjan. Esimerkiksi Helsingin metroverkolla asennustoleranssi on  $\pm 1$  mm. Myös rautateillä asennusleveys vaihtelee, rautateiden suunnittelustandardien mukaan raideleveys kasvaa aina kaarresäteen pienentyessä. Alle 220 metrisissä kaarteissa raideleveys on 1 529 millimetriä, alle 170 metrisissä 1 534 millimetriä ja alle 150 metrin kaarresäteessä 1 540 millimetriä, eli peräti 16 millimetriä leveämpi kuin tavanomainen raideleveys suoralla rataosuudella. (RATO 2)

Tampereen raitioiteille valittiin aivan uusi raideleveys Suomessa, 1 435 millimetriä. Vaikka tämä on harvinaisuus Suomessa - vastaavia ratoja on tähän asti löytynyt vain Tornion ratavyöhykkeeltä ja junalauttasatamista - on tämä raideleveys kuitenkin maailman käytetyin, niin kutsuttu standardileveys. Standardileveyden käytön etuna on, että kun leveydelle tehdään paljon erilaisia järjestelmiä ja kalustoa ympäri maailman, on kaikkien järjestelmän osien, etenkin kaluston, hankkiminen halvempaa. Sekä 1 000 millimetrin että erityisesti 1 524 millimetrin kalustossa suuri osa hankinnoista tulee tehdä erikoistuotteena, mikä nostaa kustannuksia.

Helsingissä raitioteiden kantaverkon raidegeometriaa suunnitellaan HKL:n Raitioteiden suunnitteluohjeen mukaan. Radan linjaosuuksien suunnittelussa suurin ero HKL:n raitioteiden suunnitteluohjeen ja rautateiden suunnittelustandardien välillä on siirtymäkaarien käyttö. HKL:n ohjeissa käytetään tasoituskaksosia, jotka ovat valmiiksi määriteltäviä, kun taas rautateiden ja metron suunnittelussa käytetään yleensä tasaisesti kiristyvää klotoidia, joka lasketaan kaavalla  $A^2 = R \cdot L$ . Myös Raide-Jokerissa on päätetty ottaa klotoidi tasoituskaksosien laskutavaksi, ja sitä käytetään kaikilla nykyverkon ulkopuolisilla uusilla pikaraitiotie- ja tunneliosuuksilla. HKL:n suunnitteluohjeen mukaiset tasoituskaksot on esitetty taulukossa 9. Taulukossa on kaksi eri siirtymäkaarityyppiä, näistä valitaan sopivampi riippuen halutun pääkaaren suuruudesta. Tasoituskaksot käytetään niin monta kuin on tarpeen, jotta päästään lähelle haluttua kaarresädettä. Tasoituskaksot käytetään vähentämään raitiotiekalustolle, niin raitiovaunuille kuin rataa aiheutuvia voimia sekä

lisäämään matkustusmukavuutta. Tasoitusjaksojen ansiosta raitiovaunu tulee mutkaan pehmeämmin kuin siirtymällä suoraan tasasäteiseen kaarteeseen suoralta. Helsingin kantaverkolla on kuitenkin vielä osuuksia, joilla ei ole minkäänlaisia tasoitusjaksoja tai siirtymäkaaria.

Taulukko 9: HKL:n raitioteiden suunnitteluohjeen mukaiset tasoitusjaksot (HKL)

<b>Pää- kaari R≤50m</b>	R=250,5 m 0,5°	R=150,5m 1,0°	R=70,5 m 2,0°	R=40,5 m 3,0°	R=30,5 m 4,0°	R=25,5 m 5,0°
<b>Pää- kaari R&gt;50 m</b>	R=250,5 m 0,5°	R=150,5m 1,0°	R=100,5 m 1,5°	R=70,5m 3,0°		

Ohjeet ovat HKL:n itse luomia, eikä niillä sen vuoksi ole myöskään lain määräämää päätösvaltaa. Esimerkiksi Raide-Jokerissa kehitettiin omat suunnitteluohjeet raidegeometriaa varten. Raide-Jokerin suunnitteluohjeet ovat yhdistelmä HKL:n raitioteiden suunnitteluohjeita, metrosuunnittelun ohjeita sekä saksalaisia pikaraitiotieohjeita (BOStrab).

Suurimmat hyödyt metrolinjausten muuttamisesta maanalaisiksi pikaraitiotielinjauksiksi saadaan nimenomaan ratageometriasta. Pikaraitiotiessä voidaan käyttää huomattavasti pienempiä kaarresäteitä kuin vastaavasti metrossa tai maanalaisessa lähijunayhteydessä. Sekä Pissararadassa että metrossa kaarresäteen minimiarvona on käytetty 400 metriä, mutta molemmissa tavoitearvo on vähintään 600 metriä. HKL:n raitiotien suunnitteluohjeessa 400 metrin kaarresäde mahdollistaa ilman kallistuksiakin peräti 60 kilometrin tuntinopeuden, kallistamalla puolestaan nopeusrajoituksia ei tarvita enää ollenkaan. Myös pituuskaltevuuden ääriarvot ovat lievemmat raitioteilla. Metrossa Pissararadassa puolestaan suurin sallittu pituuskaltevuus on 4 %. HKL:n raitioteiden suunnitteluohjeessa tarvittava pienin mahdollinen kaarresäde saadaan laskettua alla olevasta kaavasta.

$$r = \frac{8,3v^2}{u+108 a(q)} \quad (1)$$

missä  $r$  = kaarresäde [m]  
 $v$  = mitoitusnopeus [km/h]  
 $u$  = raiteen kallistus [mm]  
 $a(q)$  = sivuttaiskiihtyvyys [ $m/s^2$ ]

Kaavasta huomataan, että kiskoa kallistamalla saadaan pienennettyä tarvittavaa kaarresädettä, sillä kallistetulla radalla sivuttaiskiihtyvyys pienenee voimien ohjautuessa enemmän raiteiden suuntaan kuin suoraan sivulle. Suurin sallittu sivuttaiskiihtyvyys on  $0,65 m/s^2$ , joskin poikkeustapauksissa kiihtyvyys saa kohota myös arvoon  $0,98 m/s^2$ , mikäli se on radan toteuttamisen kannalta välttämätöntä. Tämä on tarpeellista lähinnä täyteen rakennetulla kaupunkialueella eikä niinkään maanalaisilla linjauksilla. Tavoitteena suunnittelussa on maksimoida mitoitusnopeus sekä minimoida sivuttaiskiihtyvyys. Suurempi mitoitusnopeus nopeuttaa matkantekoa ja pienempi sivuttaiskiihtyvyys puolestaan nostaa matkustusmukavuutta ja turvallisuutta. Suurin sallittu kallistus vaihtelee suuresti eri suunnitteluohjeissa. HKL:n raitiotien suunnitteluohjeessa ohjearvo on 70 millimetriä, joka on yhtäläinen Tampereen raitioteiden suunnitteluohjeen kanssa. Raide-Jokerissa sallitaan erillisradalla 90 millimetrin kallistus, kun taas Pissararadan suunnitteluperusteissa suurin sallittu kallistus on 120 millimetriä ja metrosuunnitteluohjeessa 160 millimetriä. Tunnelissa kulkevan raitiotien nopeudet ovat suurempia kuin pintaratkaisuissa, joten on mahdollista myös käyttää suurempia kallistuksia.

Pienemmästä kaarresäteestä sekä suuremmasta pituuskaltevuudesta on huomattavia hyötyjä maanalaisessa rakentamisessa. Esimerkiksi Pasilassa aseman itäpuolella on maan alla niin pysäköintilaitoksia kuin yhteiskäyttötunneleita hyvin läheisessä korkeusasemassa louhitun metroaseman kanssa. Pienempi sallittu kaarresäde ja suurempi pituuskaltevuus helpottavat näiden esteiden kiertämistä.

### 5.3 Tunnelirakenteet

Rautatietunnelien suunnittelua, rakentamista, ylläpitoa ja liikennöintiä ohjaa Väyläviraston ohje *Ratatekniset ohjeet osa 18, Rautatietunnelit*, joka on päivitetty viimeksi vuonna 2018. Ratateknisten ohjeiden tunneliohjeistus perustuu Euroopan komission asetus 1303/2014 *Euroopan unionin rautatiejärjestelmän rautatietunnelien turvallisuutta koskevasta yhteentoimivuuden teknisestä eritelmästä*. Koska kaupunkiraideliikenne ei kuulu rautatieliikenteen sääntelyn piiriin, ei raitioliikenteen tunnelien tarvitse näitä määräyksiä kuitenkaan täyttää. Tunnelit eivät myöskään ole maantietunneleita, joten todelliset suunnittelustandardit on luotava erikseen, yleensä näiden kaikkien yhdistelmänä.

Pikaraitiotietunneliverkoston suunnitteluperusteita laadittaessa tulee tehdä päätös perustandardista tunnelirakenteisiin. Yksi merkittävimmistä päätöksistä on, rakennetaanko tunnelit yksiaukkoisina ja kaksiraiteisina tunneleina vai kaksiaukkoisina yksiraiteisina tunneleina. Molemmissa tunnelityypeissä on omat hyvät puolensa kuin myös heikkoutensa. Pääosa Helsingin metrojärjestelmästä on rakennettu kaksiaukkoisena yksiraiteisena tunnelina, kun taas raitiotietunnelit on tähän asti suunniteltu yksiaukkoisena kaksiraiteisena tunnelina. Myös maailmalla kaksiaukkoisuus on yleensä standardi, poikkeuksena Tukholman keskustan alittava Citybanan-tunneli, joka on yksiaukkoinen kaksiraiteinen lähijunatunneli.

Kalliotunnelirakentamisessa aikaperusteiset kustannukset vastaavat peräti 80 prosenttia rakentamisen kokonaiskustannuksista. (Hollmén, K. 2019) Tämä on omiaan tekemään kaksiaukkoisesta tunnelista houkuttelevamman ratkaisun, sillä kaksiaukkoista tunnelia rakentaessa kalusto on suuremman osan ajasta käytössä, kun tunnelin eri aukkoja voi tehdä vuorotahtiin. Yksiaukkoisen tunnelin etuna on puolestaan se, että yhteenlaskettu poikkileikkauksen määrä pienenee jonkin verran, kun esimerkiksi pelastuskäytävät tulee rakentaa vain yhden kerran.

Yksi- ja kaksiaukkoisen tunnelin erot nousevat esille erityisesti pelastusturvallisuudessa. Kaksiaukkoisessa tunnelissa eri kulkusuunnat ovat fyysisesti erotettuja toisistaan, joten tulipalon syttyessä toisen kulkusuunnan tunneli on turvallinen pakopaikka. Kaksiaukkoisessa tunnelissa suurin etu tulee siitä, että pääosin liikenne on vain yhteen suuntaan kussakin tunnelissa, joten ilmanvaihto toimii myös pääasiallisesti yhteen suuntaan. Tämä on erityisen tärkeää mahdollisessa savunpoistotilanteessa, sillä uusia ajoneuvoja voi tulla vain yhdestä suunnasta, jolloin on olemassa turvallinen suunta, johon tunnelia voi tuulettaa. Yksiaukkoisessa ja kaksisuuntaisessa tunnelissa ilmapirrut ovat vaikeammin hallittavissa, sillä ajoneuvot työntävät ilmaa molempiin suuntiin, jolloin myös muodostuu niin kutsuttu mäntäilmiö. Yksiaukkoisessa tunnelissa myös junien aiheuttamat paineiskut ovat vaarallisempia ja niitä tapahtuu useammin. Mikäli operoidaan yksittäisessä tunnelissa, paineisku muodostuu ainoastaan tunneliin siirryttäessä, eli käytännössä tunnelin suulla ja asemilla. Yksiaukkoisessa tunnelissa paineiskuja muodostuu myös junien kohdatessa.

Paineiskut voivat vahingoittaa niin kalustoa kuin tunnelirakenteita, joten niiden minimointi parantaa rakenteiden ja kaluston kestävyyttä ja myös matkustusmukavuutta.

Pasilasta länteen lähtiessä tunnelit haarautuisivat eri linjoille. Tärkeysluokassa ensimmäinen, eli Meilahden tunneli haarautuu Länsi-Pasilan alla lounaaseen, jossa se kiertäisi Keskuspuiston Laakson sairaala-alueen pohjoisreunaa pitkin. Ve3-vaihtoehdossa oleva toinen haara seuraisi Töölön metrolinjan varausta, jatkaen Länsi-Pasilassa suoraan länteen ja kääntyen etelään Keskuspuiston länsireunalla. Linjat kohtaisivat toisensa Meilahdessa suurin piirtein Tukholmankadun ja Mannerheimintien risteyksen kohdalla, minne sijoituisivat myös molempien linjojen asemat. Koska linjaukset ovat tässä kohdin kohtisuoraan toisiinsa nähden, muodostuisi tästä optimaalinen vaihtoasemapaiikka.

## 5.4 Ratarakenteet

Geometriaan ja rakennuskustannuksiin vaikuttaa myös kiskotus. Metroa kiskotetaan 56 kg/m kiskolla, kun puolestaan raitiotieradalla vignole-kiskon profiili on 49 kg/m ja urakiskolla 60 kg/m. Urakisko käytetään, kun raitiotie on samassa tasossa muun liikenteen kanssa, eikä ylös nouseva kisko ole turvallista rakentaa. Urakisko mahdollistaa myös rakennekerrosten rakentamisen aivan kiskon harjan korkeuteen. Kevyemmän kiskotuksen valitseminen on ennen kaikkea taloudellisesti kannattavaa, sillä pienemmän investointikustannuksen lisäksi myös huolto- ja ylläpitokustannukset ovat pienemmät kuin urakiskossa. Radan pintarakenteen valinta vaikuttaa myöhemmin myös pelastusturvallisuuteen. Metroon verrattuna pelastautuminen tapahtuu radan pinnan tasolla matalamman lattiakorkeuden takia. Suunnittelussa täytyy ratkaista, toteutetaanko pintarakenne avoimena vai suljettuna. Suljetussa pintarakenteessa rakennekerrokset tulevat kiskon harjan tasalle ja avoimessa on käytössä esimerkiksi ratapölkkyt, joihin kiskot asennetaan eikä rakennekerroksia lisätä enää tämän yläpuolelle. Molemmat ovat mahdollisia ratkaisuita tunneleissa, avoin pintarakenne on halvempi rakentaa ja ylläpitää, mutta suljettu rakenne voi puolestaan olla turvallisempi pelastustilanteessa, kun siitä ei muodostu kompastusriskiä.

Tunneliprofiiliin vaikuttavia asioita on kaluston koon lisäksi myös sähköistys. Helsingissä pikaraitiotieissä käytetään virroitinta ja 750 voltin nimellisjännitettä. Tämä eroaa metrosta ja rautateistä suuresti. Metrossa virransyöttö on virtakiskosta, mutta jännite on sama 750 voltia. Rautateillä puolestaan virransyöttö on myös virroitimella, mutta jännite on 25 kilovoltia 50 hertsin taajuudella. Nämä muodostavat omat reunaehdot tunneliprofiilin suunnitteluun. Raitiotie ja rautatie vaativat metroa korkeamman vapaan tilan, jotta virroitin mahtuu kaluston yläpuolelle. Metron korkeussuunnan aukean tilan ulottuman vaatimus tunneliosuuksilla on neljä metriä, kun raitiotie tarvitsee vähintään 4,90 metriä. Metroon verrattuna profiili myös kapenee hieman, sillä tunnelissa on vähemmän tarvetta tilalle vaunun sivulla ilman virtakiskoa.

Kaikista kolmesta raitiotien sähköistys on kaikkein turvallisinta evakuoitavalle matkustajalle. Raitiotiellä ratapohjaa voi käyttää osana pelastusväylää, sähköistys on ilmassa eikä maan läheisyydessä evakuoitavien matkustajien korkeudella. Rautatieliikenteeseen verrattuna taas raitiotien sähköistys on turvallisempi, sillä huomattavasti pienemmän jännitteen vuoksi valokaaren riski on pienempi.

## 5.5 Tunneliturvallisuus

Liikennetunneleita rakennettaessa on varmistettava kaikkien tilojen ehdoton turvallisuus matkustajakäyttöön. Tunneleissa sattuvat vaaratilanteet ja onnettomuudet ovat aina erityisen vaarallisia, sillä pelastautumistila on huomattavan rajallinen ja maan alla poistumissuuntia on yleensä vain kaksi, joista toinen on todennäköisesti onnettomuuden vuoksi poissa käytöstä. Maan alla valon puute myös haittaa pelastautumista, kuin myös mahdollinen paniikki, jota maan alla onnettomuuteen joutuminen voi vahvistaa.

Euroopan tunneliturvallisuusasetuksessa tunnelien riskiskenaariot jaetaan kahteen kategoriaan: kuumiin ja kylmiin vaaratilanteisiin. Kuumiin vaaratilanteisiin kuuluvat tulipalot, räjähdykset ja myrkyllisen savun tai kaasun muodostuminen. Kylmiin vaaratilanteisiin kuuluvat puolestaan törmäykset ja raiteilta suostumiset. Molempiin vaaratilanteisiin varautuminen on ensiarvoisen tärkeää, mutta kylmissä vaaratilanteissa on usein enemmän aikaa pelastautumiselle ja useampia vaihtoehtoja. Tulipalon ja kaasunmuodostuksen yhteydessä usein on vain yksi pelastussuunta ilmavirtaa vasten, ja aikaa on myös huomattavasti vähemmän, tilanteen muuttuessa nopeasti katastrofaaliseksi.

Suurin uhka tunnelissa kulkevalle raitiotielle on tulipalo. Tulipalo maanalaisessa suljetussa tilassa voi olla katastrofaalinen jo pienikokoisena, sillä tulipalosta syntyvä kuumuus ja palokaasut estävät pelastautumisen hyvin nopeasti.

### 5.5.1 Pelastusturvallisuus

Metron rakentamiseen verrattuna pikaraitiotie voi tuoda säästöjä pelastusteiden rakentamisessa. Matkustajien evakuointiin tarvittava tila on huomattavasti pienempi kuin metron tai lähijunan kohdalla, sillä matkustajamäärä on merkittävästi pienempi.

Tämä moninkertaistuu myös asemilla, sillä nykyisen tulkinnan mukaan maanalaisen joukkoliikenteen asemat luokitellaan rakennuksiksi ja niiden on sen vuoksi täytettävä rakennusten pelastusmääräykset. Tämän vuoksi pelastusteiden leveydet tulevat suoraan pelastusmääräyksestä 848/2017: *Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta*. Pelastusmääräyksen mukaan maanalaisen tilan poistumistien leveyden tulee olla vähintään 1 200 millimetriä, leveyden noustessa 120 henkilön jälkeen aina 400 millimetriä jokaista 60 uutta henkilöä kohden. Kaavasta saatava pelastustien leveys on käytettävien pelastusteiden yhteisleveys. Myös liukuportaiden leveys lasketaan mukaan pelastusteiden mitoitukseen. Mikäli evakuoinnin aikana liukuportaat saavat sähköä, jätetään ylöspäin menevät portaat päälle ja alaspäin menevät portaat pysäytetään. Turvallisuussyistä liukuportaiden käynnistämistä päinvastaiseen suuntaan ei suositella. Pelastustien on kuitenkin johdettava suoraan ulkoilmaan, pelastustienä ei siis voi käyttää reittiä, joka johtaa tilaan, kuten vaikka kauppakeskukseen, josta pitää poistua eri reittiä. Tästä esimerkkinä toimii Kampin metroasema, jossa itäpään liukuportaat johtavat Kampin kauppakeskukseen. Tätä reittiä ei voida hätätilanteessa käyttää eikä sitä lasketa myöskään aseman poistumiskapasiteettiin. Myös Triplan keskukseen Pasilassa on rakennusvaiheessa varauduttu lisäämään täysin eristetty poistumistie metroaseman hätäpoistumistieksi.

Asemilla pelastustiet tulee mitoittaa sen mukaan, että asemalta poistuu samanaikaisesti kahden kulkuneuvon täyden kapasiteetin edestä matkustajia sekä puolen kulkuneuvon edestä odottavia matkustajia. Tämä tarkoittaa siis sitä, että valittava kalusto vaikuttaa suoraan asemien pelastuskäytävien leveyteen. Vähimmäisleveyksiä voidaan tarkemmassa suunnittelussa pienentää, mikäli tarkempi simulointi antaa tuloksia, jotka todistavat tilan turvalliseksi muulla tavoin.

Taulukossa 10 on esitelty pelastusmääräyksissä esitettyjen ohjeiden mukaisesti lasketut pelastusteiden leveydet. Taulukossa on ensin esitelty ensimmäiset leveydet ja sen jälkeen muutamia eri olemassa olevien kalustojen vaatimia leveyksiä. Pelastusteiden leveydet vaihtelevat suuresti eri raidejärjestelmissä eri kapasiteetista johtuen. Metrossa mitoittavana tekijänä on nykyisin M300-kalusto, jonka kapasiteetti on 576 matkustajaa. Tämä tarkoittaa sitä, että asemalta pitäisi pystyä pelastamaan 1 440 matkustajaa, joka vaatii yhteensä yli 10 440 millimetriä leveät poistumistiet. Pesararadalla puolestaan käytetään kolmen Sm5-yksikön muodostamaa junaa, jossa on yhteensä peräti 1 665 matkustajaa. Tällöin asemalta pitäisi poistua kerralla 4 163 matkustajaa, eli poistumisteiden tulee olla yhteensä 28 400 mm leveitä. Etenkin keskusta-alueella pienemmät pelastautumismäärät voivat tehdä aseman rakentamisesta huomattavasti kannattavampaa taloudellisesti.

*Taulukko 10: Esimerkki pelastusteiden leveydestä asemalla*

Ihmismäärä	Pelastusteiden leveys	Esimerkkikalusto
<120	1 200 mm	
120-179	1 600 mm	
180-239	2 000 mm	
240-299	2 400 mm	
...		
600-659	4 800 mm	Artic XL
...		
1 620-1 679	11 600 mm	M300 (Länsimetro)
...		
2 100-2 159	14 800 mm	3xM100 (kantametro)
...		
4 140-4 199	28 400 mm	3xSm5 (Kehärata)

Tunneliasemien suunnittelussa tulee kiinnittää huomiota myös pelastushenkilöstön pääsyyn asemalle ja mahdollisesti myös tunneliin. Pelastusmääräyksen 41 § mukaan yksi hisseistä on mitoitettava palomieshissiksi, mikäli kellarikerroksen lattia, tässä tapauksessa laituritaso, on yli 14 metriä sisäänkäyntitason alapuolella. Käytännössä tämä toteutuu suuressa osassa maanalaisia asemia. Vaikka tunnelien ja asemien muuttaminen metrorstandarista raitiotiestandardiin pienentääkin matkustajavirtoja asemilla, ei poistumisreittejä voi kuitenkaan suunnitella liian tiukalla mitoituksella, sillä leveämpi pelastuskäytävä helpottaa myös pelastushenkilökunnan pääsyä kohteeseen.

Tunnelissa radan vierelle tulee sijoittaa esteetön pelastuskäytävä. Kaksiaukkoisessa tunnelissa käytävä sijoitetaan ajosuuntien väliselle sivulle, jotta hätätilanteessa evakuointi toisen suunnan tunneliin on mahdollista. Tunneleissa pelastuspaikkoja tulisi olla noin sadan metrin välein. Kaksiaukkoisessa tunnelissa tämä tarkoittaa sitä, että tunnelien välissä tulisi olla palosuojattu ovi sadan metrin välein. Yksiaukkoisessa tunnelissa puolestaan tulisi olla ovi pelastuskäytävään sadan metrin välein. Turvallisen pelastautumisen mahdollistamiseksi joka kolmannen pelastautumispaikan tulisi johtaa maan pinnalle. Tämä tarkoittaisi siis sitä, että maan pinnalle tulisi pelastuskuiluja 300 metrin välein. Tämän



mahduttaminen olemassa olevaan kaupunkirakenteeseen voi olla vaikeaa tai jopa mahdotonta. Pissararadan suunnittelussa tunnelien pelastusturvallisuus oli mietitty aivan uudella tavalla. Sen sijaan että käytettäisiin toista tunnelia pelastuskäytävänä, Pissararata on suunniteltu toteutettavaksi kolmiaukkoisena tunnelina, jossa kolmas tunneli olisi pienempi pelastustunneli. Ratatunneleista olisi yhteys 100 metrin välein pelastustunneliin, mutta pelastustunnelista on yhteys maan päälle vain asemien kautta tai tunnelin suuaukkojen lähistöllä. Näin vältetään rakentamasta pelastuskuiluja kaupunkirakenteessa. Pissararadassa asemavälit ovat noin kahden kilometrin mittaisia, joten pelastautumismatka pelastustunnelissa on pisimmilläänkin alle kilometrin mittainen.

Pissararadan erillisen pelastustunnelin tekniikkaa ei ole kannattavaa toteuttaa pikaraitiotietunnelien kanssa. Hankkeen lähtökohtana on ollut luoda kevyempi liikennejärjestelmä kuin metrossa olisi. Yhtenä olennaisena osana on ollut louhintojen väheneminen pienemmän kalustoprofilin vuoksi. Näistä saadut hyödyt kuitenkin katoaisivat nopeasti, mikäli kaksiaukkoisen tunnelin lisäksi rakennettaisiin vielä kolmas linjan suuntainen tunneli. Etenkin Ve3-reitillä, jossa tunnelit kulkevat Itä-Pasilasta Meilahteen ja Hernesaareen, on pidemmän tunnelin pituus yli seitsemän kilometriä suuntaansa. Tällä reitillä erillisen pelastustunnelin rakentaminen tulisi erittäin kalliiksi. Tosin tällä alueella myös pelastuskuilujen rakentaminen on erittäin kallista ja vaikeaa, joten reittivalinta tulisi lukita mahdollisimman nopeasti, jotta jatkosuunnittelussa voidaan ottaa kantaa kuilujen sijoitteluun mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Ratatunnelissa pelastautumiskäytävän rakentaminen on se vaihe, jossa saavutetaan suurin ero raitiotien hyväksi verrattuna lähijunaan tai metroon. Metron pelastuskäytävä rakennetaan pääasiassa noin 300 millimetriä vaunun lattiataason alapuolelle, jolloin se on noin 750 millimetriä kiskon harjasta. Raitiovaunupysäkin pinta tasataan 270 millimetrin korkeuteen, joten samalla periaatteella raitiovaunun pelastuskäytävä voisi olla myös kiskon harjan korkeudella. Kuitenkin metrotunneleissa pelastuskäytävän alapuolista osuutta käytetään erilaisiin kaapelivetoihin, joten koko käytävän alainen alue ei ole hukkatilaa. Myöhemmissä selvityksissä tuleekin tarkastella, kuinka paljon tilaa kyseiset kaapelit vievät ja mihin ne saataisiin mahtumaan matalamman pelastuskäytävän yhteyteen.

Raitiotien pelastuskäytävää rakennettaessa voi tutkia, kuinka paljon ratapohjaa voi käyttää hyödyksi pelastuskäytävänä. Metroon verrattuna raiteiden tasolla kulkeminen on turvallista, sillä sähkövirta kulkee yläpuolella eikä raiteiden vieressä. Mikäli ratapohjaa voi käyttää pelastautumiseen, voi itse pelastuskäytävää hieman kaventaa. Metron suunniteluohjeessa pelastuskäytävän leveyteen on laskettu mahdollisuus, että kaksi ihmistä mahtuu ohittamaan toisensa käytävällä. Jos ratapohja on turvallinen pelastuskäyttöön, voisi ohituksen tehdä myös rata-alueen puolelta. Tämä toisaalta vaatii sitä, että rata-alueen pohja olisi käveltävää, eikä se mahdollista siten kaikkein halvimman pintamateriaalin eli ratasepelin käyttöä. Toisaalta kiskon valittu profiili, etenkin jos se on vignole-kisko, luo mahdollisen kompastumisriskin. Kapean raideleveyden vuoksi kuitenkin reunakiven ja kiskon väliin jää riittävän leveä väli.

### 5.5.2 Savunpoisto

Savunpoistossa on tärkeää eristää tunneli ja asema-alueet toisistaan. Tunnelissa savunpoisto suoritetaan yleensä savunpoistokuilujen kautta maan pinnalle. Savunpoistokuiluja tulee olla tasaisin välimatkoin, jotta savunpoisto saadaan toteutettua mahdollisimman tehokkaasti ja turvallisesti. Pelastusmääräyksen 42 § mukaan kellaritilojen, eli tässä tapauk-

sessä ratatunnelien ja asemien savunpoistoon ei saa käyttää samoja reittejä, mitä käytetään ihmisten pelastautumiseen. Asemilla puolestaan savunpoisto hoidetaan kuten muissa rakennuksissa.

Kaksiaukkoinen yksisuuntainen tunneli on savunpoistoon kaikkein helpoin ja turvallisin vaihtoehto. Yksisuuntaisella liikenteellä savunpoisto voidaan järjestää savupuhaltimilla aina turvalliseen suuntaan niin, että sitä ei puhalleta muun liikenteen päälle. Kaksiaukkoinen tunneli ei näin ollen vaadi toisen liikennesuunnan välitöntä keskeyttämistä, joskin matkustajien pelastusturvallisuuden kannalta on parempi, mikäli turvallisessa tunnelissa ei ole liikennettä.

Kaluston palokuorma vaikuttaa merkittävästi savunpoiston toteutukseen. Pienikin kalusto voi aiheuttaa suuren palokuorman materiaalivalinnoista johtuen. Tunneliliikenteeseen siirryttäessä onkin kiinnitettävä erityistä huomiota kalustoon, ja onkin erittäin todennäköistä, että tunneliin liittyville linjoille hankitaan omaa erityiskalustoa. Tästäkin löytyy maailmalta referenssejä: Itä-Lontoon Docklands Light Railwayllä liikenteen alkaessa käytössä olleet P86- ja P89-kalusto todettiin riittämättömäksi läntiselle tunneliosuudelle, joten ne jouduttiin poistamaan käytöstä. Kalusto myytiin Saksaan Esseniin, jossa ne muunnettiin kuljettaja-ajoon sopiviksi ja ylävirroitusta käyttäväksi. Vaikka kalusto todettiin sopimattomaksi tunneliosuuksille Britanniassa, käytetään niitä vielä vuonna 2019 Essenin Stadtbahn-linjoilla, joilla on pitkiä maanalaisia osuuksia. Paloturvallisen kaluston suunnittelu on otettava huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Tästä vastuu on lopulta kaluston omistajalla.

## 5.6 Liikenteenohjaus

Nykyisin Helsingissä raitioliikennettä liikennöidään maan päällä täysin manuaalisesti kuljettajan näköhavaintojen perusteella, lukuun ottamatta Aleksanterinkadun ja Mikonkadun risteyksessä olevaa kapeaa kohtaa, jossa on hyvin alkeellinen kulunvalvonta. Raitioliikenteen siirtyessä maan pinnalta pimeään tunneliin, ei näköhavaintoihin perustuva liikenne ole enää turvallisesti hyväksyttävää. Jotta tunnelista saadaan taloudellisesti kaikki hyöty irti, tulee nopeutta ja vuorotiheyttä saada nostettua. Suurempi vuorotiheys ja nopeus kasvattavat linjan kapasiteettia ja palvelutasoa. Vaikka suurempi nopeus ja vuorotiheys omalta osaltaan pienentävät liikennöinnin luotettavuutta virhemarginaalien pienentyessä, oikein toimiva kulunvalvonta puolestaan nostaa luotettavuutta.

Pasilan maanalaisten poikittaisyhteyksien simuloinneista käy ilmi, että kaikissa vaihtoehdoissa maanalaisen raitiotien kuormitus tulee olemaan erittäin kova. Tämä tarkoittaa sitä, että riittävän kapasiteetin turvaamiseksi tunneliosuuksilla tulee säilyä mahdollisuus ajaa tiheällä vuorovälillä. Helsingin metrossa on käytössä 150 sekunnin vuoroväli eli 24 junaa tunnissa (tph). Riittävän kapasiteetin saamiseksi yhteisösuudella Pasila-Meilahti vuorovälin tulisi olla juuri 2,5 minuuttia, mikä tarkoittaa sitä, että tunneliosuuksilla kulunvalvonnan tason tulee olla samalla tasolla Helsingin metron kanssa.

Vaikka Göteborgin ja Bergenin esimerkeissä on Helsingin metroon verrattuna kevyempiä kulunvalvontaratkaisuita käytössä, ei niistä ole tämän projektin kannalta juurikaan hyötyä kulunvalvonnan osalta. Kulunvalvonta muuttuu välittömästi monimutkaisemmaksi, kun tunnelissa on enemmän osia kuin asema ja siihen johtavat tunnelit. Lyhyimmässäkään vaihtoehdossa on kaksi tunneliasemaa sekä haarauma maan alla, joka tekee yhtä kevyiden ratkaisuiden tekemisestä mahdottoman.

Vaikka metrotasoisien kulunvalvonnan toteuttaminen onkin kallista, koko linjan pituudella ero alkaa huomattavasti pieneneään. Kun metrossa rata pitää eristää koko matkalta ja nykyisillä standardeilla käytännössä tehdä täysin maanalaiseksi, riittää pikaraitiotietuneleissa se, että raskaita ratkaisuja tehdään vain sille osuudelle, jossa kuormitus sitä vaatii. Tunnelien ulkopuolisella osuudella voidaan kuitenkin tehdä huomattavasti kevyempiä ratkaisuita, jotka säästävät huomattavasti kustannuksia koko linjan pituudella.

Metrotasoisien kulunvalvonnan ongelmaksi muodostuu hinnan lisäksi se, miten kulunvalvonnallinen osuus integroidaan muuhun raitiotielinjaan. Koska kulunvalvotun alueen ulkopuolella olisi tarkoitus kulkea nykyisillä raitioliikenteen operointisäännöillä ja -taivoilla, täytyy kulunvalvonta kytkeä pois näillä osuuksilla. Kulunvalvonnan kytkeminen edes takaisin voi aiheuttaa vaikeuksia ja hidasteen tunnelin suulla ja lisätä epävarmuustekijöitä liikennöinnissä. Tämä vaihe eroaa suuresti esimerkiksi Tukholman Tvärbananlinjasta, jossa koko osuus, myös maanpäälliset osiot, on toteutettu täydellä kulunvalvonnalla ja sekaliikenneosuudet on ohjelmoitu hitaan liikenteen osuuksiksi.

Linjojen häiriöherkkyyden hallintaan tunnelien ulkopuolella on kiinnitettävä erityistä huomiota. Koska tunneli sijaitsee linjojen keskellä, ja tunnelissa liikkuu kahden eri haaran raitiovaunuja hyvin tiheällä vuorovälillä, on varmistuttava myös siitä, että raitiovaunut saapuvat tunnelin suille ja yhteiselle osuudelle mahdollisimman tasaisin vuorovälein.

Kaikkein yksinkertaisimmillaan kulunvalvonta voitaisiin toteuttaa niin, että kullakin asemavälillä olisi vuorollaan vain yksi ajoneuvo kerralla, ja pääsyä näille osuuksille ohjattaisiin yksinkertaisilla liikennevaloilla, vapauttaen rataosuus aina kun edellinen vaunu on poistunut edeltävältä asemalta. Toisaalta myös lyhyempi pysäkkiväli mahdollistaa yksinkertaisemman kulunvalvonnan rakentamisen, kun kerralla valvottava osuus pienenee ja nopeudet eivät pääse kasvamaan. Tiheä asemaväli kuitenkin hidastaa kulkua hyvin paljon ja asemien rakentaminen on hyvin kallista, joten raskaamman kulunvalvonnan rakentaminen on kuitenkin palvelutason ja kapasiteetin kannalta järkevintä.

## 5.7 Asemat

Asemat muodostavat maanalaiseen yhteyden suurimman kuluerän. Esimerkiksi Länsimetron ensimmäisessä vaiheessa asemat muodostivat alkuperäisen kustannusarvion mukaan 33,68 % rakennuskustannuksista ja toisessa vaiheessa peräti 40,02 %. Länsimetron asemien hinnassa on asioita, joita ei välttämättä tarvitse ottaa huomioon valmiin kanta-kaupunkirakenteen alle rakennettavalla linjalla. Esimerkiksi 13 % asemien hinnasta oli pysäköintilaitoksien rakentamista ja 13 % katualueiden järjestelyitä. (Länsimetro, 2019.) Valmiissa kaupunkirakenteessa näitä ei tarvitse tehdä tai ne ovat huomattavasti vähäisempiä kuin esikaupunkialueella rakennettaessa. Toisaalta asemien sisäänkäyntien rakentaminen tiheästi rakennetulla alueella on huomattavasti vaikeampaa ja kalliimpaa kuin rakentamattomassa ympäristössä. Pisararata sijaitsee vastaavalla alueella, ja siinä asemien rakentamiseen oli varattu peräti 43 % rakennuskustannuksista. Toisaalta Pesaradan asemat ovat myös suurempia, kuten myöhemmin käy ilmi. (Liikennevirasto, 2015)

Tällä selvitysasteella on mahdotonta arvioida asemien hintaa, sillä epävarmuustekijöitä on vielä aivan liikaa. Pasilan maanalaisen aseman tapauksessa itse asemarakennuksen kehikko ja tunnelien suut on valmiiksi rakennettu, joten se hillitsee kustannuksia, sillä aseman rakentamiskustannuksiin tulee vain aseman varustelu raideliikenteelle sopivaksi. Kustannuksia aiheutuu kuitenkin jonkin verran siitä, että asema on suunniteltu metroa varten, jossa esimerkiksi laiturikorkeus ja siten laiturin alle suunnitellut tekniset tilat eivät ole sellaisinaan käytettävissä, vaan vaativat uudet tilat laiturikorkeuden laskiessa.

Metroon verrattuna asemien rakentamiskustannuksia hillitsee kaluston pienempi koko, joka pienentää pelastusreittien kokoa ja siten madaltaa rakennuskustannuksia. Myös valitun kaluston pituus vaikuttaa olennaisesti rakennuskustannuksiin. Toisaalta matkustajalaiturin pituus on vain osa asemahallista. Länsimetrossa louhitut asemahallit ovat lähes 200 metriä pitkiä, vaikka laituripituus on vain 90 metriä. Laiturin päissä olevaa tilaa käytetään poistumisteihin sekä teknisiin tiloihin, joita ei voi sijoittaa muualle. Helsingin metron kantametrin puoleisilla osuuksilla laiturialueen pituus on 135 metriä. Kaupunkirataliikenteen maanalaisilla asemilla, eli Kehäradalla sekä Pissaradalla asemat on mitoitettu kolmen Sm5-yksikön pituisiksi, eli 230 metriä pitkiksi.

Laituripituuden lisäksi maanalaisten pikaraitioteiden rakentaminen eroaa metro- tai lähijuna-asemien rakentamisesta laiturien rakenteissa. Pikaraitiotiellä riittävä laiturikorkeus on 270 millimetriä kiskon selästä (Helsingin kaupunki, 2015), kun lähijunissa vastaava korkeus on 550 millimetriä ja metrossa 1 050 millimetriä.

*Taulukko 11:* Linjojen vaatimat maanalaiset asemat

Asema	Vaihtoehtot	Lisätietoa
Itä-Pasila	Ve2, Ve3	Tunnelin suuaukolla Teollisuuskadun suuntaan, voidaan toteuttaa maanpäällisenä tai maanalaisena asemana
Pasila	Ve2, Ve3	Varustamista vaille valmis asema
Meilahti I	Ve2, Ve3	Laiturit Munkkiniemen suuntaan
Meilahti II	Ve3	Laiturit Hernesaaren suuntaan, muuten samaa asemaa Meilahti I:n kanssa
Töölö	Ve3	
Hesperia	Ve3	
Kamppi	Ve3	Asemasta osa louhittuna nykyisen metrolaiturin alla
Hietalahti	Ve3	
Hernesaari	Ve3	Yhteys satama-altaan ali Länsiterminaaliin

Diplomityön käsittelemällä alueella asemien määrä vaihtelee skenaarioittain. Vaihtoehtoisissa Ve0 ja Ve1 ei rakenneta maanalaisia asemia lainkaan. Vaihtoehtoisissa Ve2 maanalaisia asemia on Pasilassa ja Meilahdessa. Ve3:ssa on näiden lisäksi asemat Töölössä, Hesperiaassa, Kampissa, Hietalahdessa ja Hernesaarella. Pasilassa kauppakeskus Triplan yhteydessä on valmiiksi louhittu asemahalli ja ajotunnelien päät. Tämä tarkoittaa sitä, että linjan rakentaminen alueelle on mahdollista ja kohtalaisen helppoa, sillä rakentaminen vaatii vain tilan varustelun asemakäyttöön sopivaksi. Tunnelien jatkaminen ei myöskään häiritse kauppakeskuksen tai muiden maanpäällisten toimintojen toimintaa, kun rakentamista päätetään jatkaa. Mikäli rakennetaan molemmat linjaukset, eli myös Töölön haara, muodostuisi Meilahden asema kahdesta erillisestä maanalaisesta asemasta, jotka olisivat yhteydessä toisiinsa maanalaisin yhdyskäytävin.

## 6 Johtopäätökset ja yhteenveto

Maanalainen pikaraitiotie toimii hyvänä vaihtoehtona julkisen liikenteen runkoyhteydeksi, kun tarvitaan kevyempää ratkaisua kuin metrossa, mutta nopeampaa yhteyttä kuin mitä maanpäällisessä raitiotiellä voidaan toteuttaa. Maanalainen pikaraitiotie tarjoaa mahdollisuuden joustavampaan linjaukseen kuin mitä maanpäällinen pikaraitiotie tai metro voi tarjota, sillä linjaus ei ole riippuvainen yläpuolisesta maankäytöstä eikä metron vaatimista suurista kaarresäteistä.

Tunnelirakentamisessa suositellaan kaksiaukkoista yksiraiteista tunnelia. Kaksiaukkoisen yksisuuntainen tunneli tarjoaa kaikkein turvallisimman ja kustannustehokkaimman tavan rakentaa ja operoida tunneleita. Kuitenkaan kaikissa tilanteissa kaksiaukkoisen tunnelin rakentaminen ei ole mahdollista, joten yksiaukkoisia tunneleita voidaan käyttää, mikäli tunnelin rakentaminen olisi muuten mahdotonta.

Tutkimuksen johtopäätöksenä voidaan suositella, että raitiotietunneleita suunnitellaan vaurutuen 2 400 millimetriä leveään ja 75 metriä pitkään kalustoon. Tunneleihin liittyvät maanpäälliset linjat voidaan aluksi rakentaa 60 metriä pitkää kalustoa varten, mutta sellaisia rakenteellisia ratkaisuita ei saa suunnitella, jotka estäisivät tulevaisuudessa linjan muuttamisen 75-metrillä kalustoa varten.

Vaikka raitiotietunnelien rakentaminen on loppukustannuksiltaan melko lähellä metron kustannuksia, voidaan raitiotietunnelien suunnittelua suositella siitä huolimatta. Raitiotietunnelien rakentaminen metro- tai rautatietunnelien sijaan lisää joustavuutta, kun raitiotieillä tunneli tai täysi erottelu täytyy tehdä vain oleellisille ja kuormitetuille osuuksille. Metrossa ja rautateilla tulee tehdä raskaita ratkaisuja koko linjan pituudelta myös sellaisilla osuuksilla, joissa liikennevirrat eivät sitä perustele. Myös asemien kustannuksissa saadaan säästöjä suhteessa metroon.

Raitioliikenteen omia liikennemerkkejä tulee suunnitella, jotta raitioliikenteen erottaminen omaksi kulkuneuvoksi rakennetussa ympäristössä on mahdollista. Omilla liikenne-merkeillä voidaan parantaa raitioteiden liikennöinnin luotettavuutta ja nopeutta, kun liikutaan eristetyn radan ja muun ajoneuvoliikenteen rajapinnassa.

Helsingin yleiskaavan toteuttamisohjelman järjestystä tulee tarkastella, sillä korkeimman hallinto-oikeuden päätöksellä kumottuja hankkeita on myös yleiskaavan ensimmäisessä kaikkein korkeimmassa kiireisyysluokassa. Toisaalta tämän projektin aikana, johon kuului tämä ja Samuli Kyytsösen diplomityötä, jo Pasila-Meilahti-välin kuormitus yllätti suuruudellaan, joten on todennäköistä, että verkostossa olisi myös muita yhteyksiä, joiden kuormitus saattaa olla huomattavan korkea.

Helsingin kaupungin liikennelaitoksen rooli tulee myös selvittää, mikäli kaupunkiraideliikenteen määrä kasvaa merkittävästi ja operointi kilpailutetaan. Koko HKL:n yhtiöittäminen yhdessä osassa ei ratkaise nykyisiä intressiristiriitoja, vaan luo sen sijaan uusia haittaavia rajapintoja kaupungin sisällä raitioteiden suunnitteluun. Mikäli HKL haluaa osallistua operoinnin kilpailutuksiin, tulisi operointi yhtiöittää yksinään omaksi yhtiöksi. Sen sijaan infrastruktuuria ei kannata missään olosuhteissa yhtiöittää kauemmas kaupungin toiminnasta, mikäli kaupunki haluaa jatkossakin pitää suunnittelun tietotaidon sekä infrastruktuurin hallinnan ja kehittämisen omissa käsissään.

Lisäksi tulee selvittää hankkeiden vaikutus Helsingin seudun liikenteen infrakustannuksiin, sekä siihen, kuinka suuria paineita hankkeet voisivat pahimmillaan aiheuttaa matkustajille. Etenkin kun vuosien aikana on kertynyt melko suuri investointivaje joukkoliikenteeseen, tulee selvittää, onko nykyinen infrakustannusten jakotapa järkevä joukkoliikenteen järjestämisessä. Usean suuren hankkeen yhtäaikainen valmistuminen voi muuttaa rahanjakoa hyvin voimakkaasti, vaikka kunnalla itsellään olisi taloudellisesti varaa hankkeiden läpivientiin. Tarvittaessa tulee miettiä HSL:n perussopimuksen uusimista tältä osin.

## Lähdeluettelo

Göteborgin kaupunki (2013). *TRAFIKSTRATEGI FÖR GÖTEBORG – UNDERLAGS-  
RAPPORT: KOLLEKTIVTRAFIK*. Raportti 1:5:2013

Göteborgin kaupunki (2014). *GÖTEBORG 2035 -TRAFIKSTRATEGI FÖR EN NÄRA STORSTAD*. Raportti 0894/11

Göteborgin kaupunki (2019). *Stadsutvecklingsområde Dag Hammarskjöldsleden – från trafikbarriär till stadsgata*. [Verkkolähde]. Viitattu: 12.6.2019. Saatavissa: <https://stadsutveckling.goteborg.se/daghammarskjoldsleden>

HKL (2008) *Metrosuunnittelun käsikirja*. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos

HKL (2018) *Raitioteiden suunnitteluohje*. Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos

HSL (2019a) *Pasilan matkustajia on palvellut kolme asemaa ja muutama väliaikainen*  
 Verkkolähde: <https://www.hsl.fi/uutiset/2019/pasilan-matkustajia-palvellet-kolme-asemaa-ja-muutama-valiaikainen-18390>

HSL (2019b) *Helsingin seudun liikenteen talousarvio 2019-2021*

Kangas, L. (2019) *Miksi Raide-Jokeri kulkee Patterimäen läpi*. Raide-Jokerin allianssi. [Verkkolähde]. Viitattu 12.8.2019. Saatavissa: <https://raidejokeri.info/miksi-raide-jokeri-kulkee-patterimaen-lapi/>

Knowles, R. (2012) *Transit Oriented Development in Copenhagen, Denmark: from the Finger Plan to Ørestad*. Journal of Transport Geography. Vol. 22. s. 251–261. ISSN 0966-6923.

Kyytsönen, S. (2019) *Saavutettavuus sosiaalisesta näkökulmasta – case Helsingin poikittaiset pikaraitiotiet*. Diplomityö, Aalto-yliopisto, insinööritieteiden korkeakoulu, Espoo. 69 s.

Liikennevirasto (2015) *Pisarakarata – Ratasuunnitelman suunnitteluperusteet*

Länsimetro (2018) *Näin rakensimme ykkösvaiheen*. [Verkkolähde]. Viitattu 9.10.2019. Saatavissa: <https://www.lansimetro.fi/tietoa-hankkeesta/historia/nain-ykkosvaihe-rakentui/>

Oksanen, K. (2016) *Osattiin sitä ennenkin – Suomalaisen korruption historia on korutonta kertomaa*. Helsingin Sanomat. ISSN: 1239-257X [Verkkolähde]. Viitattu 14.10.2019. Saatavissa: <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000002918214.html>

Riipinen, L. (2015) *Viranomaisen rooli kaupunkiraideliikenteessä*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 85 s.

Rudoplhi, M. (2012) *Allélänken – A study of the possibility effects of a tramway tunnel construction in Gothenburg city*. Diplomityö. Chalmers tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik. Göteborg. 51 s.

Sahlberg, A. (2016), *Här planeras nya spårvägar*. Göteborgs-Posten. ISSN: 1103-9345 [Verkkolähde]. Viitattu 11.7.2019. Saatavissa: <https://www.gp.se/nyheter/goteborg/här-planeras-nya-spårvägar-1.3812023>

Salomaa, M. (2019), *Miksi metron automatisointi epäonnistui? Saksalainen asiantuntija HKL:stä: "Ei voi ostaa avaruusalusta, jos ei tiedä, miten se toimii"*. Helsingin Sanomat. ISSN: 1239-257X [Verkkolähde]. Viitattu 14.10.2019. Saatavissa: <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000005941068.html>

Smith, W. et al. (1968) *Helsingin seudun liikenneselvitys*

Sweco (2017) *Bybanen fra sentrum til Fyllingsdalen, teknisk forprosjekt*.

Suomen raitiotiesseura (2019), *Helsingin raitiolinjastohistoriikki*. [Verkkolähde]. Viitattu 3.10.2019. Saatavissa: <https://www.raitio.org/suomen-raitiotiet-ja-raitiovaunut/helsingin-raitiolinjastohistoriikki/>

Vantaan kaupunki (2019) *Vantaan ratikan yleissuunnitelma*.

WSP (2014). *Raide-Jokerin raideleveyselvitys*. [Verkkolähde] Viitattu 10.9.2019 Saatavissa: <https://raidejokeri.info/wp-content/uploads/2015/05/Raideleveyselvitys.pdf>.

### Haastattelut

<i>Nimi</i>	<i>Titteli</i>	<i>Organisaatio</i>	<i>Päivämäärä</i>
Hoivanen, Raila	Diplomi-insinööri	Teknistaloudellinen suunnittelu Helsingin kaupunkiympäristön toimiala	2.7.2019
Hollmén, Kalle	Osastopäällikkö	Kalliotilat ja tunnelit Sitowise Oy	25.6.2019